



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA
COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO**

Fernando Benjamín Martínez Marroquín

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, julio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA
COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FERNANDO BENJAMÍN MARTÍNEZ MARROQUÍN
ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA
COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha agosto de 2015.



Fernando Benjamín Martínez Marroquín



Guatemala, 11 de enero de 2016
Ref.EPS.DOC.02.01.16

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director
Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Fernando Benjamín Martínez Marroquín** con carné No. **200815406**, de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo
MAAO/ra



Guatemala,
09 de marzo de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

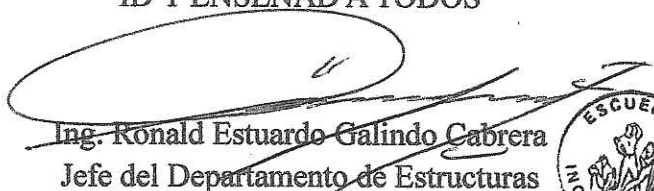
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Fernando Benjamín Martínez Marroquín, con Carnet No.200815406, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

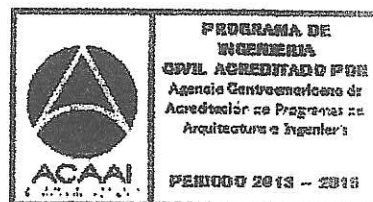

Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





Guatemala, 27 de abril de 2016
Ref.EPS.D.181.04.16

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Fernando Benjamín Martínez Marroquín**, carné 200815406, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor – Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CdRCdP/ra





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y de la Coordinadora de E.P.S. Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto, al trabajo de graduación del estudiante Fernando Benjamín Martínez Marroquín, titulado **DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2016.

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 309.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL PUENTE COLGANTE ORELLANA, DE TIPO HAMACA VEHICULAR, PARA LA COMUNIDAD DE EL RANCHO, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO**, presentado por el estudiante universitario: **Fernando Benjamín Martínez Marroquín**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	El ser supremo que me dio sabiduría y me iluminó durante toda mi carrera.
Mis padres	Rogelio Martínez y Lilian Marroquín, por ser mi apoyo incondicional y por sus sabios consejos.
Mi hermano	Rogelio Antonio Martínez Marroquín, por el apoyo que me ha brindado durante toda la vida.
Mi novia	Jackeline Paola Barrios Vásquez, por ser una importante influencia en mi carrera.
Mis abuelos	Augustina Molina, Miguel Ángel Martínez, Fidel Marroquín (q. e. p. d.), por sus sabios consejos.
Mis tíos	Ana María Martínez y Gladis Patricia Marroquín, por el apoyo que me brindaron durante mi EPS.
Mi abuela	Gelma Carrillo, por todo el apoyo que me brindó durante mi EPS.
Mis amigos	Por su amistad y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y la oportunidad de culminar mis estudios universitarios.
Mis padres	Por ser una ayuda incondicional, brindarme el apoyo moral que siempre necesité y sus sabios consejos.
Mi hermano	Rogelio Antonio Martínez Marroquín, por impulsarme para ser mejor cada día.
Mi novia	Jackeline Paola Barrios Vásquez, por exhortarme siempre a salir adelante en mi carrera profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi segunda casa en la cual me formé como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por mi formación académica profesional.
Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta	Mi eterna gratitud por sus consejos, apoyo y por estar siempre dispuesto a guiarme en la elaboración del presente trabajo de graduación.

Mis amigos de la Facultad	Jovito Sipaque, Marco del Cid, Pablo Cotton, David García, Alan Tercero, Aníbal Sierra, Henry Pérez, Azucena Valdéz, Yocelin Leal, Shirley Chaclán, por su amistad sincera y su apoyo.
Mis amigos de la infancia	Bani Campaneros, Yossimar Matul, Mileydi Valdez, Williams Gómez, Allan Paniagua, Eduardo Bran, por estar presentes en cada etapa de mi vida.
Mis amigos de la iglesia	Estuardo Hernández, Soraya Gonzáles y Brenda Gómez.
Dirección Municipal de Planificación	Marvin Ramos, Juan Carlos Iguardia, Alexis Marroquín, Eduardo Aguilar, Rogelio Salazar y Claudia Ballina, por todo el apoyo y amistad que me brindaron durante mi EPS.
Mis primos	Jossilyn Carrillo, Miguel Martínez, Carmen Martínez, Brandon Linares, Bryan Linares, Jazmín Martínez, Kimberlin Paredes, por todo su cariño y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Aspectos monográficos del municipio de San Agustín Acasaguastlán.....	1
1.2. Características físicas.....	2
1.2.1. Ubicación y localización.	2
1.2.2. Colindancias.	2
1.2.3. Topografía.	3
1.2.4. Clima.	3
1.2.5. Tipo de vivienda y actividad económica.	4
1.2.6. Población y demografía.	4
1.3. Características de infraestructura.	4
1.3.1. Vías de acceso.	5
1.3.2. Servicios públicos.	5
1.3.2.1. Educación.	7
1.3.2.2. Salud.....	7
1.3.2.3. Agua potable.....	9
1.3.2.4. Drenajes.....	9
1.3.2.5. Energía eléctrica.	10

1.4.	Características socioeconómicas.	10
1.4.1.	Origen de la comunidad.	11
1.4.2.	Actividad económica.	12
1.4.3.	Idioma y religión.	12
1.4.4.	Áreas protegidas	13
1.5.	Diagnóstico sobre necesidades en servicios básicos e infraestructura de la comunidad de San Agustín Acasaguastlán.	13
1.6.	Descripción de necesidades.	14
1.7.	Evaluación y priorización de necesidades.	15
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	17
2.1.	Consideraciones generales	17
2.1.1.	Descripción del proyecto.	17
2.2.	Especificaciones del diseño	17
2.3.	Especificaciones de construcción.	18
2.4.	Estudios topográficos	20
2.4.1.	Levantamiento topográfico.	20
2.4.1.1.	Levantamiento planimétrico.	21
2.4.1.2.	Levantamiento altimétrico.	21
2.5.	Características del estudio hidrológico.	22
2.5.1.	Datos de crecientes.	23
2.5.1.1.	HEC RAS.	24
2.5.2.	Cálculo del caudal máximo.	26
2.6.	Estudio de suelos.	31
2.6.1.	Granulometría.	32
2.6.2.	Gravedad específica.	32
2.6.3.	Ensayo de fuerza triaxial.	33
2.6.4.	Límites de Atterberg.	33

2.7.	Diseño arquitectónico	33
2.8.	Diseño de la estructura	34
2.8.1.	Diseño de la cimentación	35
2.8.1.1.	Anclaje de torres	35
2.8.2.	Concepto de análisis estructural	36
2.8.2.1.	Integración de cargas.....	36
2.8.3.	Dimensionamiento del puente colgante de hamaca	50
2.9.	Geometría.....	51
2.9.1.	Flecha	51
2.9.2.	Altura de las torres	52
2.9.3.	Luces laterales.....	53
2.10.	Péndolas	53
2.11.	Datos y bases de diseño.....	55
2.12.	Diseño del caminamiento.....	55
2.13.	Integración de cargas.	56
2.13.1.	Carga viva.....	56
2.13.2.	Carga muerta.	57
2.13.3.	Carga última.	58
2.13.4.	Refuerzos.	59
2.14.	Análisis y diseño del sistema de piso.....	59
2.14.1.	Diseño de vigas principales de madera.....	62
2.14.2.	Diseño de vigas secundarias de madera.....	67
2.15.	Análisis y diseño del cable principal.....	73
2.15.1.	Cable principal	74
2.15.2.	Tensores.....	76
2.15.3.	Torres	76
2.15.3.1.	Predimensionamiento de columnas.....	78

2.15.3.2.	Cálculo de tensión del cable en la columna.....	79
2.15.3.3.	Refuerzo longitudinal y transversal	80
2.16.	Anclaje.	81
2.16.1.	Muerto	81
2.16.1.1.	Predimensionamiento	82
2.16.2.	Anclaje principal	83
2.17.	Análisis y diseño de torres.....	84
2.18.	Análisis y diseño de los tensores.....	88
2.18.1.	Diseño de péndolas	90
2.19.	Barandales para el caminamiento.	91
2.20.	Especificaciones técnicas.....	92
2.20.1.	Matriz de evaluación.....	94
2.21.	Fases constructivas del puente colgante flexible de hamaca	96
2.22.	Presupuesto del puente colgante.	102
2.23.	Cronograma de ejecución.	105
2.24.	Requerimientos de un estudio de impacto ambiental	106
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES		119
BIBLIOGRAFÍA		121
APÉNDICES		123
ANEXOS		127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del municipio.....	1
2.	Informaciones de crecientes en internet	23
3.	Modelación del cauce del río.....	25
4.	3D del cauce del río y perfil del área en estudio	26
5.	Valores para C	27
6.	Mapa de zonas de velocidad básica del viento para la República de Guatemala (kilómetros/hora).	38
7.	Zonificación sísmica para la República de Guatemala	44
8.	Factor de probabilidad según el tipo de sismo.....	49
9.	Geometría de un puente colgante	51
10.	Área tributaria para una péndola	54
11.	Torre de estructura metálica.....	77
12.	Plataforma de paso con vigas de madera.	81
13.	Isométrico del muerto.....	83
14.	Isométrico de muertos existentes	84
15.	Matriz de evaluación	95
16.	Fundición de cimiento y anclaje.....	96
17.	Erección de torres	97
18.	Montaje de cables principales	98
19.	Instalación de cables secundarios.....	99
20.	Colocación de vigas primarias y secundarias	100
21.	Instalación de cables laterales	101
22.	Portada del estudio de impacto ambiental.....	114

TABLAS

I.	Límites geográficos.....	3
II.	Establecimientos comerciales de la cabecera municipal de San Agustín Acasaguastlán	6
III.	<i>Ranking</i> del municipio San Agustín Acasaguastlán	7
IV.	Mapeo de infraestructura de diagnóstico municipal	8
V.	Principales actividades del municipio de San Agustín Acasaguastlán	11
VI.	Infraestructura productiva	14
VII.	Especificaciones de construcción	19
VIII.	Caudales calculados, método racional.....	31
IX.	Presión de remanso del viento q_s	39
X.	Coeficiente de exposición C_e	40
XI.	Coeficiente de presión C_q	41
XII.	Coeficientes y factores para el diseño de sistemas sismorresistentes	46
XIII.	Coeficiente de Sitio F_a	47
XIV.	Coeficiente de Sitio F_v	48
XV.	Presupuesto desglosado del proyecto	102
XVI.	Requisitos del instrumento ambiental	106
XVII.	Datos generales para instrumentos ambientales	108
XVIII.	Impactos ambientales	110
XIX.	Ejemplo ilustrativo de índice	115

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h_t	Altura de las torres
H_i	Altura del aparato (teodolito)
A	Área
B	Base
β	Beta (ángulo vertical en grados)
V_s	Capacidad soporte del suelo
W	Carga distribuida
C_m	Carga muerta
C_u	Carga última
C_v	Carga viva
Q	Caudal
cm	Centímetro
cm^2	Centímetro cuadrado
C	Coeficiente de escorrentía
P_v	Componente vertical de la tensión del cable
Cot	Cotangente
Δ	Delta
ρ_m	Densidad de la madera
\varnothing	Diámetro
ΔH	Diferencia de hilos
d	Distancia entre apoyos
D_h	Distancia horizontal
λ	Esbeltez

∂c	Esfuerzo de corte de la madera
∂f	Esfuerzo de flexión de la madera
$f' y$	Esfuerzo de fluencia del acero
∂t	Esfuerzo de tensión del cable
σ_{acero}	Esfuerzo del acero
F.S.	Factor de seguridad
F	Flecha
V	Fuerza cortante
°	Grados
°C	Grados centígrados
G_s	Gravedad específica del suelo
hr	Hora
I	Inercia
i	Intensidad de la precipitación
kg	Kilogramos
km²	Kilómetros cuadrados
Lat	Latitud
h	Lectura horizontal del aparato
lb	Libras
PSI	Libras sobre pulgada cuadrada
Long	Longitud
L	Longitud del puente
LL	Luces laterales
ML	Metro lineal
m	Metros
m³/s	Metros cúbicos por segundo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
mm/hr	Milímetros por hora

min	Minutos
M	Momento
M_T	Momento total
Tr	Período de retorno
γ_{pb}	Peso específico de la piedra bola
γ_c	Peso específico del concreto
γ_{cc}	Peso específico del concreto ciclópeo
W_p	Peso propio
P_c	Peso soportado por una columna
PT	Pie tabla
ft	Pies
%	Porcentaje
In	Pulgadas
Q.	Quetzales
R_g	Radio de giro
f 'c	Resistencia a compresión del concreto
“	Segundos
Sen	Seno
T	Tensión
T_m	Tensión máxima del cable
tc	Tiempo de concentración
Ton	Toneladas
Vol	Volumen

GLOSARIO

AASHTO	Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
AISC	American Institute of Steel Construction.
Altimetría	Parte de la topografía que se ocupa de la medición de alturas.
Apremiantes	Situaciones que tienen mayor urgencia.
Aristas vivas	Intersección en un ángulo exterior entre dos molduras o superficies.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Atterberg	Científico sueco Albert Mauritz Atterberg.
CA	Ruta centroamericana.
Carbolíneo	Substancia líquida, grasa y de color verdoso, que se emplea para hacer impermeable la madera.
CCA	Cobre, cromo y arsénico.

Ciclópeo	Concreto que está hecho en enormes bloques y su agregado grueso es la piedra bola.
Curvas IDF	Duración, intensidad y frecuencia.
DGC	Dirección General de Caminos.
Dimensionamiento	Proceso para determinar la dimensión o característica correcta o esperada de algo.
EPS	Ejercicio Profesional Supervisado.
Escorrentía	Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.
Granulometría	Es la determinación más corriente y una de las más importantes que se realizan a un suelo; y representa la distribución de los tamaños de grano que posee el suelo.
Hec Ras	Software específico de modelización hidráulica.
Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers	Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército.
IAEM	Índice de Avance Educativo Municipal.

IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
Insivumeh	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Isométrico	Es un método gráfico de representación constituye una representación visual de un objeto tridimensional en dos dimensiones.
Joist	Vigueta de alma abierta hecha de acero, que se utiliza en la construcción de pisos, techos, entre otros.
Meteorización	Acción de desgaste las rocas por la acción de los agentes atmosféricos.
Mineduc	Ministerio de Educación.
Monografía	Es un documento que trata un tema en particular porque está dedicado a utilizar diversas fuentes compiladas y procesadas por uno o por varios autores.
Morfometría	Se refiere al análisis cuantitativo de la forma, un concepto que abarca el tamaño y la forma.

MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
Norma ASTM	Normas internacionales para el ensayo de materiales.
Parábola	Curva abierta formada por dos líneas o ramas simétricas respecto de un eje y en que todos sus puntos están a la misma distancia del foco y de la directriz.
PDM	Plan de Desarrollo Municipal.
Péndolas	Cualquiera de las varillas verticales que sostienen el piso de un puente colgante o de otras obras.
Planimetría	Parte de la topografía que trata la medición y representación de una porción de la superficie terrestre sobre una superficie plana.
Predictivo	Acciones que se toman y las técnicas que se aplican con el objetivo de detectar fallas y defectos.
Proctor	Es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno.
<i>Ranking</i>	Lista o relación ordenada de cosas o personas con arreglo a un criterio determinado.

Riostras	Varillas o alambres que sustentan las alas desde el fuselaje. Muy usadas, sobre todo, en los biplanos.
Segeplan	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República de Guatemala.
Tamizado	Es un método físico para separar mezclas en el cual se separan dos sólidos formados por partículas de tamaño diferente.
Transeúntes	Persona que transita o camina por un lugar.
Volumétrico	Medición de volúmenes.

RESUMEN

Este trabajo de investigación corresponde al informe del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), realizado en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, del departamento de El Progreso, cuyo propósito es mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Para la elaboración del mismo se hizo un estudio donde se reflejaron las principales necesidades de la población, estableciendo una de ellas como las más apremiantes, entre una serie de carencias del municipio: el puente colgante de hamaca entre dos caseríos de la aldea El Rancho.

Para dar solución al transporte en los barrios mencionados, para resolver el problema de acceso a dos caseríos de la aldea El Rancho, separados geográficamente por el río Motagua, se diseñó la construcción de un puente colgante tipo hamaca, con una longitud de ciento cuarenta metros y un ancho de dos metros; con el fin de que haya un acceso seguro tanto para sus habitantes, como para mototaxis, el costo total del proyecto Q 522 391,50.

El diseño del puente se basó en normativas impuestas por la Dirección General de Caminos, normativas ASTM para los cables, criterios del ACI-318-08 del capítulo 9 y ejemplificación de cómo se deberá elaborar un estudio de impacto ambiental con la normativa legal ambiental vigente en Guatemala.

OBJETIVOS

General

Diseñar la estructura de un puente colgante de hamaca para la comunidad de El Rancho, San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso.

Específicos

1. Generar un acceso de comunicación más rápido entre la comunidad de El Rancho y Santa Gertrudis.
2. Diseñar una estructura sustentada por cables que sea viable, factible y económica en su construcción.
3. Promover el desarrollo social, económico y agrícola en dichos sectores.

INTRODUCCIÓN

La Universidad de San Carlos de Guatemala y la Facultad de Ingeniería, a través del EPS, tratan de mejorar las condiciones de vida de las comunidades, y permiten que el estudiante aplique los conocimientos adquiridos en las soluciones de problemas reales en beneficio de las comunidades, con aplicación del método científico, y la actualización de la aplicación de técnicas modernas para su implementación.

San Agustín Acasaguastlán, municipio del departamento de El Progreso, presenta la problemática propia de un país del tercer mundo, y que ha repercutido en el pobre desarrollo local y evidencia la carencia de servicios de primera necesidad tales como: agua potable y vías de comunicación, que genera deterioro de salud y riesgos de accidentes por falta de vías de comunicación seguras.

Para la elaboración de los proyectos, se tomaron en cuenta los aspectos monográficos de la población como lo son: ubicación, colindancias, extensión, población, entre otros. Para el diseño de proyectos fue necesaria la utilización de equipo topográfico para determinar la ubicación exacta de cada componente de los proyectos.

El proyecto se trata de la construcción de un puente tipo colgante de hamaca, con una longitud aproximada de ciento cuarenta metros, conformado con dos torres en los extremos donde van ubicadas 2 rampas de acceso, y sus respectivas barandas laterales en toda su longitud para evitar caídas al río.

El aforo de la circulación de personas sobre el lugar daría un dato muy elevado; ya que dicho puente ahorraría entre 20 a 25 min en trasladarse de un barrio a otro. Dicho movimiento se da debido al transporte de mercadería, traslado de estudiantes para los establecimientos educativos y demás comercios como lo son: carnicerías, salones de belleza, barberías, abarroterías, tiendas de conveniencia, entre otros.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Aspectos monográficos del municipio de San Agustín Acasaguastlán

Se determinará sobre el municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, conceptos específicos tales como; ubicación, colindancias, extensión territorial, clima, población e idioma, entre otros.

Figura 1. Ubicación del municipio



Fuente: Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán.

1.2. Características físicas

Son todos los factores que influyen en un lugar y forman parte del ecosistema.

1.2.1. Ubicación y localización

San Agustín Acasaguastlán, municipio del departamento de El Progreso, se encuentra ubicado a 89 kilómetros de la ciudad capital, por medio de la carretera Interoceánica CA-9.

Cuenta con una cabecera municipal localizada a una altitud de doscientos noventa metros sobre el nivel del mar, una latitud norte de $14^{\circ} 58' 50''$, y longitud oeste de $80^{\circ} 57' 0''$. Posee además, 18 aldeas y 65 caseríos, entre las aldeas se encuentra El Rancho, situada a orillas del río Motagua o también conocido como río Grande.

1.2.2. Colindancias

El municipio de San Agustín Acasaguastlán, por su ubicación se encuentra limitado por la sierra de las Minas hacia el norte con Baja Verapaz, hacia el sur con la cabecera departamental y en el resto de la siguiente forma.

Tabla I. **Límites geográficos**

Límite	Municipio	Departamento
Norte	San Jerónimo y Salamá	Baja Verapaz
Sur	Guastatoya	El Progreso
Este	San Cristóbal Acasaguastlán y El Jícaro	El Progreso
Oeste	Morazán	El Progreso

Fuente: informe catastral de la Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán.

1.2.3. Topografía

La altura oficial de la cabecera municipal es de 290 msnm, lat. 14°56'37, long. 89°58'07. San Agustín Acasaguastlán 2260 IV; El Progreso 2160 I. Cuenta también con caminos, roderas y veredas que unen a sus poblados entre sí y con los municipios vecinos.

El municipio posee condiciones topográficas muy particulares ya que se encuentra limitado por dos grandes áreas, una de ellas la sierra de las Minas, y la ribera del río Motagua.

1.2.4. Clima

El clima en el municipio, según la estación hidrológica más cercana del Insivumeh ubicada en la cabecera departamental de San Agustín Acasaguastlán, a 1 kilómetro del municipio de San Agustín Acasaguastlán, presenta las siguientes temperaturas durante el año:

- Temperatura máxima (promedio anual): 35,5 °C
- Temperatura promedio (anual): 28,6 °C
- Temperatura mínima (promedio anual): 21,0 °C
- Precipitación normal anual: 878,1 mm
- Estación lluviosa: mayo-octubre
- Estación seca: noviembre–abril

El clima general del municipio es cálido, especialmente en las partes bajas; en áreas cercanas al río Motagua.

1.2.5. Tipo de vivienda y actividad económica

La economía de San Agustín Acasaguastlán se basa en la producción agrícola de maíz, frijol, caña de azúcar, café, cacao, achiote y vainilla; así también, los habitantes de este lugar trabajan en la elaboración de productos artesanales como la cerámica, jarcia, instrumentos musicales y muebles de madera, productos de hierro y hojalata, ladrillos y tejas de barro.

1.2.6. Población y demografía.

Según el censo del INE existe una población de 46 429 habitantes. El resultado de la investigación muestra el número de habitantes del área urbana que es de 13 929 habitantes, que hacen un 30 % de la población y el 64 % del área rural es de 32 500 habitantes, para un gran total de 46 429 habitantes del municipio de San Agustín Acasaguastlán.

1.3. Características de infraestructura

Conjunto de elementos de una construcción para que pueda funcionar.

1.3.1. Vías de acceso

El acceso para el municipio de San Agustín Acasaguastlán desde la ciudad capital es por la carretera CA-09, la cual está asfaltada en su totalidad, la cual conecta al municipio con la República, por el kilómetro 88 de la ruta al Atlántico, y de la cabecera municipal hacia la cabecera departamental, es de 22 kilómetros, ambas por la ruta al Atlántico CA 09. En el municipio, la calle principal es adoquinada y los caminos para comunicarse con los barrios son de adoquín y de tierra. Estos caminos en época de invierno se convierten en accesos peligrosos para los transeúntes.

1.3.2. Servicios públicos

Existe el centro de salud ubicado en la cabecera municipal, también se cuenta con el servicio de energía eléctrica que se inauguró el 3 noviembre 1972, el cual es distribuido por parte del Instituto Nacional de Electrificación (INDE). Asimismo, con servicios de agua domiciliar que escasean en épocas de verano, hacen uso de un sistema de letrinas, el cual es deficiente por lo que no cuentan con un sistema adecuado de tratamiento de las excretas y un drenaje que desemboca en el río Hato.

En cuanto a los recursos tecnológicos, el municipio cuenta con el servicio de telefonía móvil celular con una cobertura del 90 % a nivel municipal, las estaciones de radio que se pueden captar en el municipio, emiten desde la cabecera departamental de Guastatoya; también provienen de Alta y Baja Verapaz, Zacapa, Chiquimula y la capital. En la cabecera municipal, los canales de televisión que se captan localmente, provienen de emisiones vía satélite y la señal es distribuida por cable, se cuenta también con servicio de internet.

En el área rural, únicamente se tiene acceso a la telefonía celular, careciendo de los demás servicios.

La cabecera municipal de San Agustín Acasaguastlán, cuenta con los siguientes servicios: agua potable, drenajes, energía eléctrica, Municipalidad, distrito de salud, Coordinación Técnica Administrativa de Educación, Centro de Atención Integral, Policía Nacional Civil, Juzgado de Paz, Biblioteca Municipal, banda de música civil, Defensores de la Naturaleza, cementerio municipal, entre otros. Además, posee varios tipos de comercios que se muestran a continuación.

Tabla II. **Establecimientos comerciales de la cabecera municipal de San Agustín Acasaguastlán**

COMERCIO	CANTIDAD	COMERCIO	CANTIDAD	COMERCIO	CANTIDAD
BANCOS	2	PUESTOS DE SALUD	1	MECANOGRAFÍA	2
COOPERATIVAS	1	PIZZERÍAS	1	FUNERARIAS	2
DESPENSAS	1	CASSETAS	2	ELECTRODOMÉSTICOS	2
TIENDAS	50	EXPENDIOS DE GAS	3	TURICENTROS	2
COMEDORES	6	CLÍNICA DENTAL	3	BARES	5
LIBRERÍAS	6	PINCHAZOS	1	GASOLINERAS	1
TORTILLERÍAS	12	TALLER MECÁNICO	2	FARMACIAS	6

Fuente: informe catastral. Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán.

1.3.2.1. Educación

El Informe de Índice de Avance Educativo, que tiene como objetivo medir en un solo indicador la dispersión existente en cuanto al logro de la cobertura en los niveles preprimaria, primaria, básicos y diversificado, así como la terminación del nivel primaria, básicos y diversificado y el logro obtenido en las pruebas estandarizadas de matemática y lenguaje para tercero básico, muestra que los municipios del departamento de El Progreso, presentan un Índice de Avance Educativo Municipal (IAEM) alto o medio, ubicando al departamento en una buena posición relativa a nivel nacional. Entre los municipios que mostraron un mayor avance en el período 2002-2006, se encuentra el municipio de San Agustín Acasaguastlán, ubicándolo en un IAEM medio.

Tabla III. **Ranking del municipio San Agustín Acasaguastlán**

Nombre del Municipio	Avance 2002	Avance 2006	Avance (2002-2006)	Categoría	Ranking 2002	Ranking 2006	Diferencia Ranking (2002-2006)	Ranking según marginación
San Agustín Acasaguastlán	47,70 %	58,70 %	0,11	Media	140	107	33	32/117

Fuente: elaboración propia con datos del Informe sobre el Índice de Avance Educativo Municipal, que fue construido con datos del Sistema de Información Educativa del Mineduc y de Segeplan.

1.3.2.2. Salud

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) da cobertura al municipio de San Agustín Acasaguastlán, por medio de un centro y siete puestos de salud a nivel municipal. Además, existen promotores de salud y comadronas capacitadas que coadyuvan a la prestación de la atención primaria, principalmente en el área rural.

Según información proporcionada por el Distrito Municipal de Salud, el 95 % de la población depende de los servicios públicos de salud, el resto (5 %) tiene acceso a servicios del IGSS o pagan por atención privada ya sea en los servicios que actualmente se prestan en la cabecera municipal y El Rancho, o bien se trasladan a la cabecera departamental de Guastatoya, Zacapa o ciudad capital.

A continuación se presenta el cuadro que describe los principales servicios médicos o de salud que se prestan en el municipio.

Tabla IV. Mapeo de infraestructura de diagnóstico municipal

Institución	Localización	Distancia Km
Distrito de salud	Cabecera municipal	00
Puesto de salud	Aldea El Rancho	11
Puesto de salud	Aldea Tulumajillo	13
Puesto de salud	Aldea Comaja	18
Puesto de salud	Aldea Puerta de Golpe	9
Puesto de salud	Aldea Cimientó	17
Puesto de salud	Aldea Tecuiz	17
Puesto de salud	Aldea Jute de la Cobana	22
Promotores de salud	Todo el municipio	--
Comadronas	Todo el municipio	
Médicos particulares	Aldea El Rancho, cabecera municipal	11
Clínica Médica San José	Aldea El Rancho	11

Fuente: elaboración propia con información de los resultados del mapeo participativo y diagnóstico municipal de San Agustín Acasaguastlán.

1.3.2.3. Agua potable

Es de hacer notar que solo la cabecera municipal y la aldea El Rancho tienen servicio de agua potable. Según el mapeo participativo, el resto de la población cuenta con la infraestructura de agua entubada, pero el servicio es escaso. El último censo realizado en el 2002, determina que el 90,59 % de las viviendas cuenta con acceso a servicio de agua.

1.3.2.4. Drenajes

La cabecera municipal y la aldea El Rancho tienen servicio de alcantarillado. Según el mapeo participativo, el resto de la población no cuenta con servicio de alcantarillado. El último censo realizado en 2002 determina que el 86,85 % de las viviendas dispone de servicios sanitarios.

La población del área urbana reporta el acceso a servicio de drenaje en un 85 %. En el área rural el 20 % a servicio de drenaje, y el 65 % a fosas sépticas, lo que indica que el municipio no cuenta con la infraestructura adecuada y mínima para brindar el saneamiento ambiental correspondiente a la población. Otro problema con los drenajes es que en su gran mayoría están dañados, se ve correr a flor de tierra las aguas sucias, causando contaminación de los suelos y de las aguas.

1.3.2.5. Energía eléctrica

Según el censo del 2002, el 67,21 % de las viviendas cuenta con acceso a energía eléctrica; un 13,90 % utiliza gas corriente; un 12,75 % recurre al uso de candela; un 5,60 % cuenta con paneles solares. Respecto al servicio de alumbrado debe resaltarse que dos de cada tres viviendas en el municipio tiene conexión a la red nacional de electricidad.

1.4. Características socioeconómicas

Las principales fuentes de empleo en San Agustín Acasaguastlán lo constituyen las fincas de café, caña de azúcar y hortalizas. Otro sector importante en la generación de empleo lo representan las procesadoras de madera o aserraderos, y las empresas o asociaciones de deshidratación de limón con baja presencia en el municipio.

Según estimaciones del Instituto Nacional de Estadística (INE), la población económicamente activa en el 2007, era de 2 997 personas, de las cuales el 55 % se dedica a actividades agrícolas, el 18 % al comercio y el 27 % a otras actividades, entre las cuales se pueden mencionar la de servicios profesionales. El promedio de ingreso familiar en el municipio es de Q 30,00 diarios para quienes realizan trabajo informal y temporal.

En el mapeo participativo del municipio de San Agustín Acasaguastlán no existe mayor grado de desarrollo industrial. Las principales actividades industriales en pequeña escala lo constituyen la artesanía, como la elaboración de sombreros, hamacas, comales, ollas de barro, escobas, lo manufacturero como tejas, ladrillo, maceteros, y *blocks*; y con menor presencia esta la minería, que consiste en la extracción de las piedras: talco, yeso, argentina y mármol.

Tabla V. **Principales actividades del municipio de San Agustín
Acasaguastlán**

Lugar poblado	Tipo de artesanía se elabora
• Llano de Jesús	• Comales y ollas de barro
• Tamarindo y Ojo de Agua (cabecera municipal)	• Comales y ollas de barro
• Vado Ancho	• Ollas de barro
• Puerta de Golpe	• Ollas de barro y comales, escobas
• Rancho	• Ollas de piedra
• Comaja	• Sombreros de palma
• Tinmasha	• Comales y ollas de barro
• Magdalena	• Atarrayas, hamacas

Fuente: taller mapeo participativo 2010.

1.4.1. Origen de la comunidad

Las dos partes de que se forma el nombre de Acasaguastlán son: *Acatzau* = torditos, conforme a la etimología de las voces *nahuatl*, y *aztlán* = lugar de garzas. Durante el período hispánico se conoció al poblado como San Agustín de la Real Corona. Cuando se creó el departamento de Zacapa por acuerdo núm. 30 del 10 de noviembre de 1871, este municipio pasó a formar parte del mismo como San Agustín Acasaguastlán. Más tarde, pasó a integrar el departamento de El Progreso, cuando este se creó en el Acuerdo Gubernativo núm. 683 del 13 de abril de 1908.

1.4.2. Actividad económica

La economía de San Agustín Acasaguastlán se basa en la producción agrícola de maíz, frijol, caña de azúcar, café, cacao, achiote y vainilla; así también, los habitantes de este lugar trabajan en la elaboración de productos artesanales como la cerámica, jarcia, instrumentos musicales y muebles de madera, productos de hierro y hojalata, ladrillos y tejas de barro.

1.4.3. Idioma y religión

Al inicio de la conquista española, el principal centro poblacional era Valil, cuyos habitantes hablaban pokoman y chortí. Actualmente, la mayoría de la población tiene como idioma natal el castellano.

La mayoría de la población profesa la religión católica. El principal templo católico es la parroquia de San Agustín Acasaguastlán de construcción colonial que pertenece a la Diócesis de Jalapa. Entre las actividades religiosas principales se encuentran: el Día de Oración de Fe que se realiza en cada comunidad, Día de la Santa Cruz, Semana Santa, Día de la Virgen María, Día del Santísimo Cuerpo de Cristo y el Día de la Sagrada Familia. La población evangélica es minoritaria y dentro de las iglesias evangélicas destaca la Iglesia de Cristo Rey.

Tienen por tradición celebrar su fiesta titular del 24 al 30 de agosto, siendo el 28 el día principal, en honor a San Agustín Obispo y Doctor.

1.4.4. Áreas protegidas

En parte del territorio de San Agustín Acasaguastlán, se encuentra el área protegida de la Reserva de la Biosfera de la sierra de las Minas, que tiene una superficie de 96 000 hectáreas, la cual es administrada por los Defensores de la Naturaleza.

1.5. Diagnóstico sobre necesidades en servicios básicos e infraestructura de la comunidad de San Agustín Acasaguastlán

Según el FODA participativo, en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, existe poca infraestructura productiva. En las microrregiones del norte hay sistemas de riego por gravedad. Existe tres centros de acopio, uno para el café de exportación hacia los países de Europa, ubicado en Los Apantes, La Montañita, los otro dos son de limón para su secado y posterior exportación hacia los países del Medio Oriente, ubicados en Ixcanal y Tulumaje.

En cuanto a las vías de acceso, se pueden identificar las siguientes: los caminos asfaltados como la carretera CA 9 norte para el Atlántico, la ruta para Cobán, Alta Verapaz, y el acceso principal a la cabecera municipal. Los demás caminos que de la cabecera municipal conducen a las aldeas y otras comunidades, todos son de terracería y se encuentran en muy mal estado, solo son transitables en la estación seca.

Tabla VI. **Infraestructura productiva**

Descripción	Ubicación	Condiciones actuales
Beneficios de café	En las comunidades de Albores, Hierba Buena, Delicias el Carmen San Miguel, La Montañita, Las Cidras y El Morro.	De regular a buen estado.
Riego artesanal	Comunidades de el Cimientto, Chanrayo, Comaja, Tulumajillo, Timiluya, Conte Tishical, La Trinidad y Puerta de Golpe.	De malo a regular estado.
Centros de acopio de limón.	Comunidades de Ixcanal y Tulumaje.	Regular estado.

Fuente: PDM San Agustín Acasaguastlán.

1.6. Descripción de necesidades

Las personas que viven en el municipio de San Agustín Acasaguastlán principalmente del área rural padecen de deficiencias en la calidad de vivienda, así como en la provisión de servicios básicos, afectando de manera directa la calidad de vida para la mayor parte de la población.

Respecto a los datos presentados en el VI Censo de Habitación realizado en el 2002, destaca que para ese período el municipio contaba con un total de 8 171 viviendas de las cuales un 91,98 % corresponde al tipo de vivienda formal. Un 6,06 % tipo rancho y resto se divide en tipo casa improvisada, cuarto en casa de vecindad, apartamento y otros.

1.7. Evaluación y priorización de necesidades

Es de hacer notar que solo la cabecera municipal y la aldea El Rancho tienen servicio de agua potable y servicio de alcantarillado. Según el mapeo participativo, el resto de la población cuenta con la infraestructura de agua entubada, pero el servicio es escaso. Sin embargo, no cuentan con servicio.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

Para el diseño del proyecto se efectuarán varios cálculos como son: levantamientos topográficos, análisis hidráulico, análisis hidrológico y estudio de suelos, indispensables para realizar el proyecto.

2.1. Consideraciones generales

Contiene un análisis de la situación que destaca las características fundamentales del proyecto incluidos los factores de riesgo.

2.1.1. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en el diseño de un puente colgante tipo hamaca de 120 metros de longitud total y 2 metros de ancho, con el que se puedan beneficiar los pobladores de la aldea.

2.2. Especificaciones del diseño

El puente suspendido es un tipo de puente que tiene la plataforma con la flecha hacia abajo. La flecha de la plataforma está suspendida debajo del anclaje. Los cables están anclados dentro de la cimentación del anclaje principal en ambos bancos. Los principales componentes de este puente son: cables de la plataforma y cables de los pasamanos, sistema de pasarela y cimentación de anclajes.

Este tipo de puente es seleccionado donde las cimentaciones del puente puede ser ubicadas en una posición lo suficientemente elevada como para tener el borde libre del máximo nivel de aguas.

El puente suspendido es más económico, simple de diseñar y construir que un puente en suspensión.

Diseño: diseño y construcción de puentes peatonales suspendidos. Manual 1: diseño y construcción de puentes peatonales suspendidos para ingenieros. Fundación Helvetas Honduras, Tegucigalpa, Honduras y Helvetas Guatemala, ciudad de Guatemala.

Construcción: especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos, (ESP DGC), edición de septiembre de 2001.

2.3. Especificaciones de construcción

Se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todos los trabajos de construcción de obras, elaboración de estudios, fabricación de equipos.

Estas forman parte integral del proyecto y complementan lo indicado en los planos respectivos y en el contrato.

Tabla VII. **Especificaciones de construcción**

Concepto	Descripción	Observaciones
Carga viva (Cv)	Tuc tuc de 277 kg + 6 personas de 90 kg c/u	Será una carga distribuida en todo el caminamiento del puente.
Concreto	$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Para uso de la cimentación y anclajes.
Acabados de concreto	Deben ser según la sección 553.17 de las especificaciones de DGC	Todas las superficies deben de ser acabadas inmediatamente después de retiradas las formaletas, con un “acabado ordinario de superficie”. Toda la rebaba debe ser cincelada al ras de la superficie.
Acero de refuerzo	Grado 60 Especificaciones M31 de la AASHTO y A615 de las ASTM	Se usará acero de refuerzo en forma de barras corrugadas.
Biseles	Todas las aristas deben ser biseladas 2 cm.	
Dimensionamientos	Todas las dimensiones están dadas en metros.	Salvo que se indique en los planos otro tipo de medida.
Diseño estructural		Cualquier cambio debe ser consultado con un ingeniero estructural y con el ingeniero supervisor responsable del desarrollo de los mismos.

Fuente: elaboración propia.

2.4. Estudios topográficos

Los estudios topográficos utilizan el sistema de representación de planos, mostrando la elevación del terreno utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas curvas de nivel, en cuyo caso se dice que el mapa es hipsográfico.

2.4.1. Levantamiento topográfico

Para la ejecución y diseño de un proyecto de ingeniería, la base es el estudio topográfico del terreno disponible donde se llevará a cabo. Se ha realizado un levantamiento topográfico en la sección transversal del río donde estará ubicado el puente. El levantamiento topográfico consta de dos métodos los cuales son: altimetría y planimetría.

Para el levantamiento topográfico en el lugar donde se situará el puente colgante tipo hamaca se utilizó el siguiente equipo:

- 1 teodolito
- 1 cinta métrica de 30 metros
- 1 metro de 5 metros
- 1 estadal

Este trabajo se realizó con una cuadrilla de topografía integrada por un topógrafo, un cadenero y un peón.

Los resultados obtenidos en campo del levantamiento topográfico son indicados en la libreta de campo adjunta en los apéndices.

El trabajo de gabinete consistió en obtener los siguientes planos:

- Plano de localización
- Plano de curvas de nivel
- Plano de secciones transversales

2.4.1.1. Levantamiento planimétrico

Parte de la topografía que se refiere a la posición de puntos y su proyección sobre un plano horizontal. Pretende identificar los niveles del terreno, para determinar las diferencias de niveles existentes y así determinar la altura. Para determinar las diferencias existentes se utilizará la siguiente fórmula:

$$Dh = \Delta H \cdot 2h \cdot \text{sen } (2\beta)$$

Donde

ΔH = diferencia de hilos (superior – inferior)

$2h$ = 2 veces la constante de lectura horizontal del aparato

B = ángulo vertical (grados)

2.4.1.2. Levantamiento altimétrico

Parte de la topografía que tiene por objetivo el estudio de los métodos y procedimientos para representar el relieve del terreno, pretende identificar los niveles del terreno donde se ubicará el puente, para determinar las diferencias existentes, se utilizará la siguiente fórmula:

$$Cot = 2 * [(\frac{1}{2} * DH)(\cos\beta)] + Hi + Hm$$

Donde

Hi = altura del aparato

Hm = hilo medio (m)

DH = distancia horizontal (m)

β = ángulo vertical (grados)

2.5. Características del estudio hidrológico

El puente colgante tipo hamaca a diseñar estará expuesto a factores climáticos, y en época de invierno es cuando los ríos transportan mayor cantidad de agua en su cauce, poniendo en riesgo componentes del puente, para ello es necesario estimar las condiciones máximas de riesgo al que supuestamente estará sujeta la estructura.

En el estudio hidrológico se hace una caracterización general del tramo en donde se ubica el puente. Las características hidrológicas son propias de la región lluviosa de la estación hidrológica, en la cual se encuentran claramente definidos los períodos lluviosos y no lluviosos dentro del año calendario. La mayoría de las cuencas se caracterizan por tener una respuesta rápida a precipitaciones intensas por lo que los rendimientos son altos para períodos cortos.

2.5.1. Datos de crecientes

Las crecientes son eventos extraordinarios que se presentan en los cauces de las corrientes naturales durante las cuales las magnitudes de los caudales, superan con creces los valores medios que son normales en dichas corrientes.

Figura 2. Informaciones de crecientes en internet

	Estación: PUENTE ORELLANA											
DÍA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	21.357	95.850	74.063	73.405	73.405	123.828	20.824	63.444				
2	21.627	79.480	97.450	59.409	98.257	263.896	20.301	66.444				
3	22.175	75.391	100.707	56.642	81.583	114.525	20.562	67.673				
4	22.175	58.848	95.057	54.497	62.271	217.598	13.542	72.102				
5	22.452	54.497	107.456	68.293	95.057	203.565	8.305	71.457				
6	22.732	48.901	81.583	49.392	150.558	101.533	8.305	72.102				
7	22.175	49.886	70.179	67.673	200.838	111.836	8.305	76.737				
8	22.175	43.732	76.737	74.063	94.269	78.100		27.241				
9	21.900	24.763	47.450	61.691	250.915	55.562						
10	22.732	31.287	95.850	64.036	370.860	64.632						
11	23.587	64.036	97.450	56.642	284.266	64.632						
12	23.300	56.100	78.788	53.970	123.828	61.114						
13	23.587	52.411	61.114	47.450	160.711	59.409						
14	23.587	164.202	61.114	38.970	108.322	57.737						
15	22.175	53.447	50.885	32.363	78.788	39.806						
16	22.732	43.283	78.788	48.901	115.432	25.981						
17	24.170	64.036	120.044	42.394	91.934	25.981						
18	23.877	101.533	52.411	41.954	113.624	26.292						
19	23.015	83.223	50.384	34.215	135.697	25.981						
20	23.587	99.885	80.878	26.606	211.904	25.367						
21	22.732	110.069	50.384	25.064	322.613	25.367						
22	22.732	78.100	120.044	24.170	171.349	25.367						
23	22.732	99.885	67.673	23.587	262.247	25.367						
24	22.732	88.134	73.405	23.300	120.982	25.367						
25	22.732	104.042	68.918	23.300	133.664	24.763						
26	22.732	64.036	88.885	42.837	134.677	24.465						
27	23.300	61.114	67.057	41.954	179.968	24.465						
28	20.562	51.899	58.291	40.229	272.251	20.824						
29	111.836	74.063	45.101	71.457	209.097	21.627						
30	85.178	103.201	46.500	90.400	181.224	22.175						
31	99.885		68.918	70.179		21.357						

Fuente: Insivumeh.

2.5.1.1. HEC RAS

Cuando se estudia un tramo de un determinado río para conocer hasta donde llegaría el agua si el caudal alcanzara cierto valor, surgen preguntas como: ¿Qué altura alcanzará la lámina de agua? ¿Se inundarán las zonas próximas? ¿En qué extensión?

Responder a estas preguntas no es una tarea fácil ya que se deben tener en cuenta diferentes factores como la forma del cauce, su pendiente o su naturaleza (tipo de material, presencia de vegetación, entre otros). Pero si además existen obras en el cauce (puentes, canalizaciones, entre otros) o se quiere saber qué pasaría si existieran, el problema se complica.

Hoy en día, se dispone de diversos software específicos de modelización hidráulica que facilitan la entrada de datos y permiten visualizar gráficamente los resultados, incluso exportarlos en forma de tablas, lo que nos facilita su interpretación. Entre todos ellos, destaca sin duda el software HEC-RAS (desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers), es uno de los programas de referencia dentro de su campo.

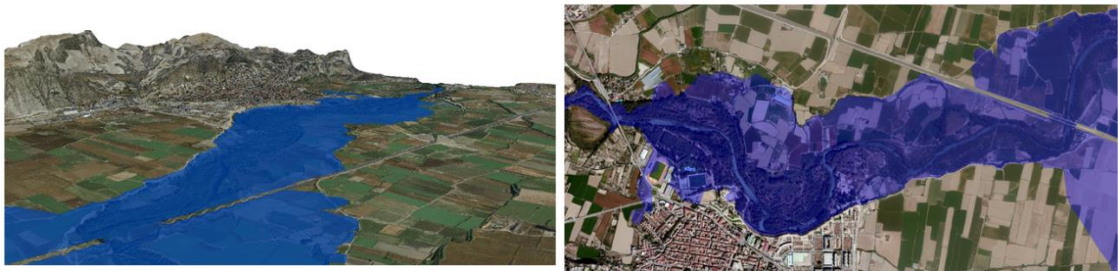
Se trata de un software gratuito, por lo tanto su uso se ha generalizado y se encuentra en un proceso constante de actualización al introducir continuas mejoras. Esto ha hecho que poco a poco la gran mayoría de administraciones hayan comenzado a exigir el estudio del impacto, que puede representar sobre la dinámica de los cauces cualquier tipo de actuación con un modelo hidráulico suficientemente fiable, como es el caso de HEC RAS.

Es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente
- Modelización de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

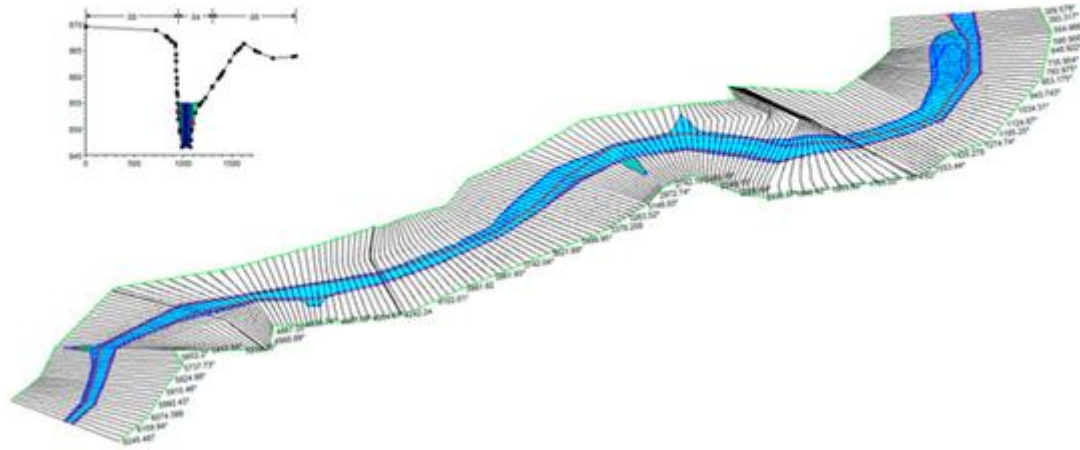
Permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.

Figura 3. **Modelación del cauce del río**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa HEC RAS.

Figura 4. **3D del cauce del río y perfil del área en estudio**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa HEC RAS.

2.5.2. Cálculo del caudal máximo

Método racional

Este es un método empírico basado en relaciones precipitación-escorrentía. Esto es uno de los métodos empíricos más populares cuya aplicación original ha sido para áreas urbanas; sin embargo, también se aplica a cuencas rurales de pequeñas áreas.

El caudal pico, Q [m^3/s] se estima mediante la siguiente ecuación:

$$Q = C i A / 3,6$$

Donde

C = es el coeficiente de escorrentía

i = intensidad de la precipitación (mm/hr), con una duración igual a t_c

A = área de la cuenca tributaria (km²)

t_c = tiempo de concentración de la cuenca (min)

El coeficiente de escorrentía C, se estima con base en características hidrogeológicas de las cuencas. En literatura de hidrología se pueden encontrar valores de C en función, generalmente, de tres aspectos: la cobertura, el tipo de suelo y las pendientes del terreno.

En la figura se muestra una tabla que el Insivumeh presenta en el estudio Curvas IDF, 2002.

Figura 5. **Valores para C**

Cuadro No.3
Valores de C para diferentes tipos de suelo. USDA, 1972

Uso de Suelo	Pendiente del terreno	Suelos arenosos	Suelos francos	Suelos arcillosos
Tierra agrícola	< 5 %	0,30	0,50	0,60
	5 – 10 %	0,4	0,60	0,70
	10 – 30 %	0,50	0,70	0,80
Poterros	< 5 %	0,10	0,30	0,40
	5 – 10 %	0,15	0,35	0,55
	10 – 30 %	0,20	0,40	0,60
Bosques	< 5 %	0,10	0,30	0,40
	5 – 10 %	0,25	0,35	0,50
	10 – 30 %	0,30	0,50	0,60

Fuente: *Nacional Engineering Handbook, Sec. 4: Hydrology, USDA.* p. 16.

Los valores de i , para una duración $t=t_c$ de la cuenca, pueden obtenerse de las curvas de duración-intensidad-frecuencia (*IDF*) de lluvias. En el caso de Guatemala, existen familias de curvas derivadas para varias estaciones del país, así como mapas de isolíneas con este tipo de información (Insivumeh).

La ecuación general que relaciona la duración t , la intensidad i y la frecuencia, expresado en términos del período de retorno (Tr) es la siguiente ecuación. Los valores de A , B y n , son parámetros de ajuste.

Normalmente, i se expresa en mm/hr, $t = t_c$ en min y Tr en años.

$$i = A / (t + B)^n$$

El tiempo de concentración del área tributaria puede estimarse mediante fórmulas que se basan en parámetros morfométricos de las cuencas. Una de las fórmulas más utilizadas en el medio es la recomendada por el Proyecto Hidrometeorológico centroamericano, que usa el desnivel y la longitud del cauce.

$$t_c = \left(\frac{0,87 L^3}{h_s - h_i} \right)^{0,385}$$

Donde t_c es el tiempo de concentración expresado en horas, L es la longitud del cauce o del canal principal desde la cabecera de la cuenca (kilómetros), h_s es la elevación del punto más alto del cauce o del canal principal (milímetros sobre el nivel del mar), h_i es la elevación del punto más bajo o de observación del canal principal (milímetros sobre el nivel del mar).

Para fines de este trabajo, para determinar la intensidad i , se utilizó la curva IDF de la estación Orellana (ubicada en Santa Gertrudis, San Agustín Acasaguastlán, El Progreso). Para un período de retorno Tr de 50 años la intensidad de la lluvia se estima a través de:

$$I = 10\,300 / (35 + tc)^{1,02}$$

Y para un Tr de 100 años se estima a través de:

$$I = 10\,110 / (35 + tc)^{1,0014}$$

Se estimó utilizar un coeficiente de escorrentía C de 0,50

A continuación se muestran los diferentes caudales estimados con base en el procedimiento del método racional.

Datos de la cuenca Motagua respecto a la estación Orellana:

Estación: Orellana

Área de la cuenca: 5 776,76 km²

Longitud de la cuenca: 459 000 m

Desnivel: 3 050,35 m

Calculando tc :

$$tc = \left(\frac{0,87 L^3}{hs - hi} \right)^{0,385}$$

$$tc = \frac{0,87 (459\,000\,m)^3}{3\,050,35\,m}^{0,385}$$

$$tc = 6,47365493\,hr$$

Calculando i 50 años:

$$I = 10\,300 / (35 + t_c)^{1,02}$$

$$I = 10\,300 / (35 + 6,47365493)^{1,02}$$

$$I = 230,52 \text{ mm/hr}$$

Calculando i 100 años:

$$I = 10\,110 / (35 + t_c)^{1,0014}$$

$$I = 10\,110 / (35 + 6,47365493)^{1,0014}$$

$$I = 242,50 \text{ mm/hr}$$

Caudal estimado para un período de retorno de 50 años es el siguiente:

$$Q_{50} = C i A / 3,6$$

$$Q_{50} = \frac{0,50 \times 230,52 \times 5\,776,76}{3,6}$$

$$Q_{50} = 184\,952,965 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal estimado para un periodo de retorno de 100 años es el siguiente:

$$Q_{100} = C i A / 3,6$$

$$Q_{100} = \frac{0,50 \times 242,50 \times 5\,776,76}{3,6}$$

$$Q_{100} = 194\,565,4815 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla VIII. **Caudales calculados, método racional**

Nombre	Área de drenaje km ²	tc	C	i50 años	i100 años	Q 50 años	Q 100 años
Orellana	5 776,76	6,47	0,5	230,52	242,50	184 952,96	194 565,48

Fuente: elaboración propia.

Con base en estos resultados obtenidos del método racional se puede decir que la cota máxima debido a la crecida en un período de retorno de 100 años es de 7,65 m. Con un resguardo de 2,35 m.

2.6. Estudio de suelos

Como toda estructura apoyada sobre el suelo, necesita que este sea sustentable para soportar el peso de la misma. Por ello es necesario establecer si el suelo aporta las características mecánicas que sirva de apoyo a la estructura, sin que esta esté en riesgo y para ello se harán los análisis correspondientes.

2.6.1. Granulometría

La variedad en el tamaño de las partículas del suelo, casi es ilimitada; por definición, los granos de mayor tamaño son los que se pueden mover con gran facilidad, mientras que los más finos son tan pequeños que no se puede apreciar con un microscopio corriente. Las partículas producidas por la meteorización mecánica rara vez son de diámetro inferior a 0,001 mm y generalmente, son mucho mayores. Para clasificar por tamaño de partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de las partículas, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir al procedimiento de sedimentación.

La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aun cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente. El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada.

2.6.2. Gravedad específica

El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, es utilizada en el análisis hidrométrico, es útil para predecir el peso unitario del suelo y sirve para graficar la recta de saturación máxima en el ensayo de compactación Proctor. La gravedad específica de un suelo (G_s) se define como el peso unitario del material en cuestión, dividido por el peso unitario del agua destilada a cuatro grados Celsius.

2.6.3. Ensayo de fuerza triaxial

Son las pruebas que más se utilizan en la actualidad para determinar los parámetros de resistencia al corte de los suelos. Debido a que el suelo es un material tan complejo, ninguna prueba bastará por si sola para estudiar todos los aspectos importantes del comportamiento esfuerzo-deformación. El ensayo triaxial constituye el método más versátil en el estudio de las propiedades esfuerzo-deformación. Con este ensayo es posible obtener una gran variedad de estados reales de carga. Esta prueba es la más común para determinar las propiedades esfuerzo–deformación.

2.6.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. Atterberg dividió y consideró tres límites o estados de consistencia: el límite de contracción que es la frontera convencional entre el estado sólido y semisólido, el límite plástico que es la frontera entre los estados semisólido y plástico; y el límite líquido que se define como la frontera entre estado plástico y semilíquido. También se denomina al límite líquido como la frontera entre el estado plástico y líquido.

2.7. Diseño arquitectónico

El diseño arquitectónico consiste en la conformación y disposición de espacios volumétricos, los cuales tendrán una determinada función y actividades humanas dentro de los mismos. Además de cumplir con una función en específico, el diseño también comprende un interior y exterior del espacio, estético al ojo humano, así como una comodidad del espacio para los usuarios.

El diseño arquitectónico no solo se basa en la creación de espacios volumétricos, también se diseñan aspectos importantes dentro del espacio, como una adecuada apariencia estética, áreas de uso, áreas de circulación, estructura, acabados, entre otros. Así también, se deben aplicar aspectos tales como el clima del lugar, si existe riesgo en el mismo, entre otros. El diseño abarca todo el objeto en general.

2.8. Diseño de la estructura

Puentes colgantes semirrígidos:

En este tipo de puentes es posible adoptar disposiciones especiales adecuadas para disminuir notablemente la deformidad que presentan, varios son los efectos.

- Reforzar el tablero mediante vigas robustas en el sentido longitudinal como largueros o bien emplear parapetos capaces de obrar como vigas resistentes a la deflexión.
- Colocar una serie de tirantes oblicuos, los cuales a partir de la cabeza del pilar, a la que están asegurados, sobre la pared de suspensión y van a fijarse en el tablero en diversos puntos, salvo un trozo central de él.

- Desarrollar debajo del tablero un sistema de arriostramiento eficaz formado por varias series horizontales que enlazan los pilares en diferentes puntos del tablero. Si se adopta como ángulo de inclinación el que se forma por la horizontal con el peso que gravita en un cable y la máxima presión del viento sobre el puente, uno de los cables, por efecto de dos especies de fuerza, resultará extendido en su plano y experimentará una desviación mínima a causa del refuerzo que a él le transmite el otro cable.

2.8.1. Diseño de la cimentación

Normalmente llamada cámara de anclaje; para los dos cables principales en cada lado del puente. Basado en la tensión del cable debido a la componente vertical y la componente horizontal. Se calcula el volumen de concreto de la cámara más el volumen de relleno de material suelo que va encima de la cámara de anclaje.

2.8.1.1. Anclaje de torres

Las torres estarán ancladas en un angular como base de 4" x 4" x 1/4" y una platina de acero de 1/4". El molde formado por la platina será relleno con concreto para crear un nudo rígido en la base de la torre. Estas por lo general, son construidas de acero, ya sea de cualquier perfil, por la facilidad de construcción y montaje, estas van unidas a las elongaciones de las cimentaciones por medio de pernos, para un mejor anclaje.

2.8.2. Concepto de análisis estructural

Sirve para analizar una estructura; por lo tanto es necesario idealizarla y verificar como está soportado y conectado entre sí. Se colocan las cargas y se analizan los desplazamientos y momentos por medio de análisis estructural. En este caso para el análisis del peso de la estructura se emplea el método de equilibrio de pesos.

2.8.2.1. Integración de cargas

Como todo puente, se consideran dos tipos de cargas verticales. La carga muerta (Cm); que está compuesta por la estructura del mismo. El otro tipo de carga a considerar, es la carga viva (Cv); que se encontrará en movimiento en determinado momento en el puente, como podrán ser personas, animales de carga como (mulas, caballos, bestias y burros), y el peso de su carga, el peso de un tuc tuc y el peso de su servicio.

La carga de viento también afecta el comportamiento dinámico del puente. Para minimizar los efectos dinámicos de las cargas de viento, se ha introducido una plataforma de madera y posiciones de la flecha con respuesta más favorable que se incluye en el diseño. Las cargas de viento son particularmente importantes en el proyecto. El efecto total sobre la estructura debido a fuerzas de viento puede expresarse por medio de la fórmula:

$$P = KV^2$$

Donde

P = presión del viento en kg/m^2 o lb/ft^2

V = velocidad del viento en km/hr o MPH

K = constante empírica que se ha determinado experimentalmente

La ecuación anterior se basa en la ecuación de la hidrodinámica para la presión de la velocidad que ejerce un fluido en movimiento.

$$q = \frac{w}{2g} * V^2$$

Donde

Q = presión de la velocidad del viento en kg/m²

w = peso del fluido en kg/m³ (1,22)

g = aceleración de la gravedad en m/seg²

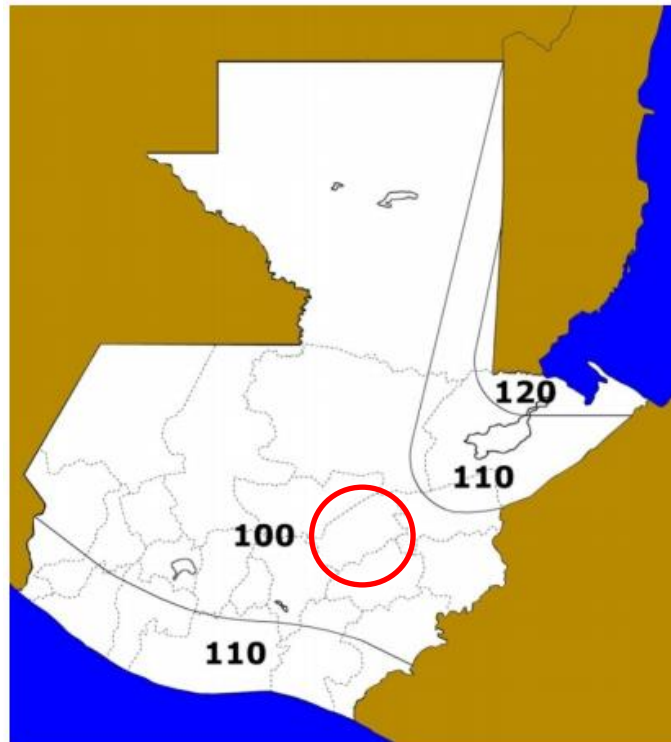
V = velocidad del fluido en m/seg

Efectuando las respectivas sustituciones en ambas ecuaciones, queda de la siguiente manera:

$$q = (1,22/29,81) * V^2$$

$$q = 0,0624 V^2$$

Figura 6. **Mapa de zonas de velocidad básica del viento para la República de Guatemala (kilómetros/hora)**



Fuente: Agies.

Para el cálculo de la presión de viento utilizaremos la siguiente ecuación descrita en las normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala, Agies NSE 2-10 demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección.

$$P = C_e C_q q_s I$$

Donde

P: presión de diseño de viento

C_e : coeficiente de exposición (tabla X)

C_q : coeficiente de presión para la estructura (tabla XI)

q_s : presión de remanso del viento a la altura estándar de 10 m (tabla IX)

I : factor de importancia. Usar 1,15 para obras esenciales y 1,0 en general

Para la presión del viento de remanso q_s se usará la siguiente tabla:

Tabla IX. **Presión de remanso del viento q_s**

Velocidad básica del viento (Km/h)	100	110	120
Presión (Pa)	474	573	682

Fuente: Agies.

Para la estructura se utilizará la presión de viento $q_s = 100$ por estar ubicada en El Progreso (ver figura 6).

Para el cálculo de la presión de viento que afectará la estructura se necesitan de unos coeficientes C_q y C_e , los cuales están en las siguientes tablas:

Tabla X. **Coeficiente de exposición C_e**

ALTURA SOBRE EL NIVEL PROMEDIO DEL TERRENO (m)	Exposición D	Exposición C	Exposición B
4.5	1.39	1.06	0.62
6.0	1.45	1.13	0.67
7.5	1.50	1.19	0.72
9.0	1.54	1.23	0.76
12.0	1.62	1.31	0.84
18.0	1.73	1.43	0.95
24.0	1.81	1.53	1.04
30.0	1.88	1.61	1.13
36.0	1.93	1.67	1.20
48.0	2.02	1.79	1.31
60.0	2.10	1.87	1.42
90.0	2.23	2.05	1.63
120.0	2.34	2.19	1.80

Alturas menores a 4.50m debe utilizar el factor C_e para 4.50m
Alturas mayores a 4.50m pueden ser interpoladas

Fuente: Agies.

Debido a que la altura de las torres es de 5,50 m; se procede a interpolar en la tabla entre los valores marcados según altura.

Interpolación

Altura m	Exposición D
4,5	1,39
5,0	C_e
6,0	1,45

$$\frac{5,50 - 4,50}{6,00 - 4,50} = \frac{C_e - 1,39}{1,45 - 1,39}$$

$$C_e = 1,43$$

Tabla XI. Coeficiente de presión C_q

ESTRUCTURA O PARTE DE LA MISMA	DESCRIPCIÓN	FACTOR C_q
1.Estructuras y Sistemas Primarios	Muros: Muro en barlovento Muro en sotavento Techos: Viento perpendicular a la cumbrera Techo en sotavento o techo plano Techo en barlovento: Pendiente menor a 1:6 Pendiente mayor a 1:6 y menor a 3:4 Pendiente mayor a 3:4 y menor a 1:1 Pendiente mayor a 1:1 Viento paralelo a la cumbrera y techo plano	0.8 hacia adentro 0.5 hacia fuera 0.7 hacia fuera 0.7 hacia fuera 0.9 hacia fuera ó 0.3 hacia adentro 0.4 hacia adentro 0.7 hacia adentro 0.7 hacia fuera
2.Elementos y componentes que no están en áreas de discontinuidad	Elementos de Muros: Todas las estructuras Estructuras encerradas y no encerradas Estructuras parcialmente encerradas Parapetos Elementos de Techos: Estructuras encerradas y no encerradas Pendiente menor a 7:12 Pendiente mayor a 7:12 y menor a 1:1 Estructuras parcialmente encerradas Pendiente menor a 1:6 Pendiente mayor a 1:6 y menor a 7:12 Pendiente mayor a 1:6 y menor a 7:12 Pendiente mayor a 7:12 y menor a 1:1	1.2 hacia dentro 1.2 hacia fuera 1.6 hacia fuera 1.3 hacia dentro o hacia fuera 1.3 hacia fuera 1.3 hacia fuera o hacia dentro 1.7 hacia fuera 1.6 hacia fuera 0.8 hacia dentro 1.7 hacia adentro o hacia fuera
3.Elementos y componentes en áreas de discontinuidades	Esquinas de Muros Aleros de techos, cornizas inclinadas o cumbreras sin voladizos Pendiente menor a 1:6 Pendiente mayor a 1:6 y menor a 7:12 Pendiente mayor a 7:12 y menor a 1:1 Voladizos en aleros de techos, cornizas inclinadas o cumbreras y toldos	2.3 hacia arriba 2.6 hacia fuera 1.6 hacia fuera 0.5 sumado a los valores anteriores
4.Chimeneas, tanques y torres sólidas	Cuadrado o rectangular Hexagonal u octogonal Redondo o elíptico	1.4 en cualquier dirección 1.1 en cualquier dirección 0.8 en cualquier dirección
5.Torres de estructuras abiertas	Cuadrado y rectangular Diagonal Normal Triangular	4.0 3.6 3.2
6.Accesorios de torres (escaleras, conductos, lámparas y ascensores)	Elementos cilíndricos 51 mm o menor diámetro Mayores de 51 mm de diámetro Miembros planos o angulares	1.0 0.8 1.3
7.Señalización, astas de bandera, postes de luz y estructuras menores		1.4 en cualquier dirección

Fuente: Agies.

El coeficiente C_q por se estructura de alma abierta será de $C_q = 4,0$ (cuadrado y rectangular).

El factor de importancia será de 1,15 (sugerido por Agies).

$$P = C_e C_q q_s I$$

$$P = (1,43) (4,00) (q_s) (1,15)$$

$$q_s = 474 \text{ Pa}$$

$$q_s = 48,33 \text{ kg/m}^2$$

$$P = (1,43) (4,00) (48,33 \text{ kg/m}^2) (1,15)$$

$$P = 317,94 \text{ kg/m}^2$$

Según la sección 8.2.3 del Agies, la carga de viento se tiene que mayorar utilizando un factor de seguridad de 1,3; de esta forma la carga de viento quedaría así:

$$P = (317,94 \text{ kg/m}^2) (1,3)$$

$$P = 413,32 \text{ kg/m}^2$$

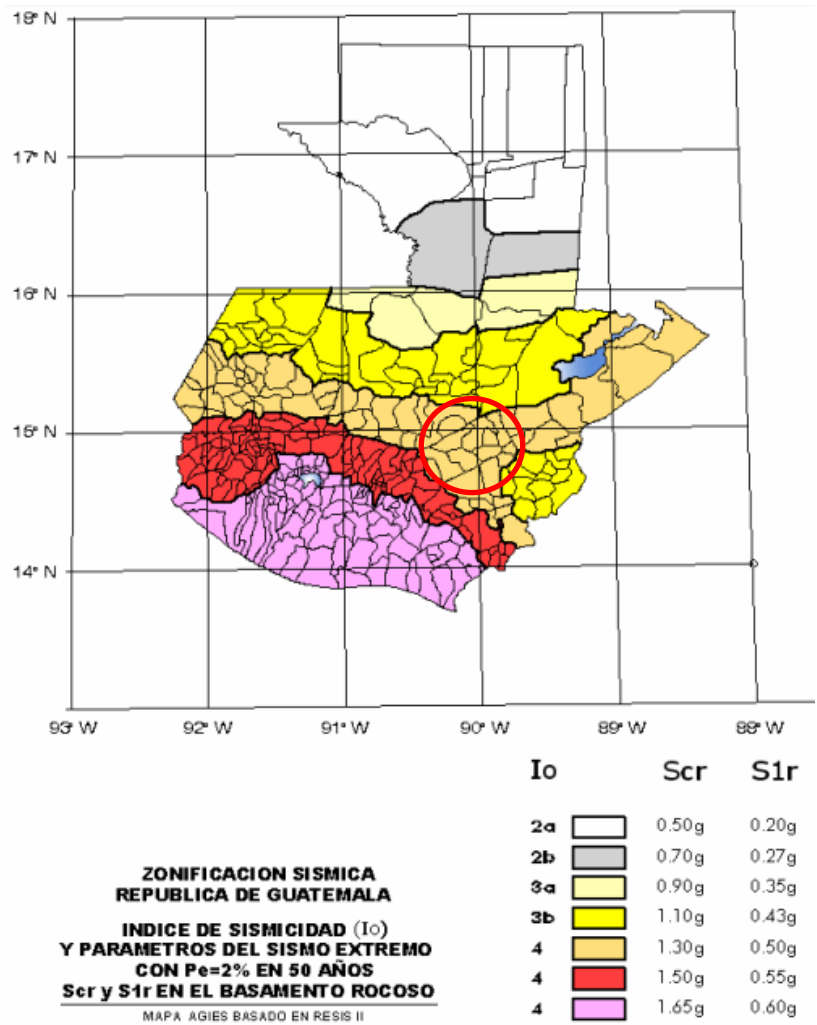
El puente está ubicado en la falla del Motagua, por lo tanto está en una zona vulnerable a sismos. Durante un sismo la estructura puede sufrir daños por el hecho de sufrir aceleraciones en su cimentación. Analizando por corte basal sus aceleraciones horizontales y estas son el décimo de la aceleración de la gravedad y se representa como 0,1 g (0,981 m/seg²). La estructura no es rígida por lo tanto solo su cimentación y las torres actuarán como un todo rígido y sufrirá las mismas aceleraciones que la cimentación. Por lo tanto, cada parte de la estructura actuará una fuerza de inercia horizontal igual a su masa multiplicada por su aceleración horizontal.

Fuerza lateral = masa x aceleración

$$\text{Fuerza} = \frac{\text{peso}}{g} \times 0,5 g$$

$$\text{Fuerza} = 0,5 \text{ peso}$$

Figura 7. Zonificación sísmica para la República de Guatemala



Fuente: Agies.

El sismo está calculado en la base de la estructura, directamente en los cimientos de las torres el cuál será calculado por el corte basal dado en la siguiente fórmula:

$$V_B = C_s W_s$$

Donde

V_B : corte basal

C_s : coeficiente sísmico de diseño

W_s : peso de la estructura

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

Donde

$S_a(T)$: es la demanda sísmica de diseño para una estructura con período T obtenida del espectro de diseño sísmico establecido para el sitio; y calibrado según la probabilidad de ocurrencia requerida.

R : es el factor genérico de reducción de respuesta sísmica.

T : es el período fundamental de vibración de la estructura.

Tabla XII. **Coeficientes y factores para el diseño de sistemas sismorresistentes**

	SISTEMA ESTRUCTURAL (sección 1.5)	Sistema Constructivo Véase Secc1.5.8	R	Ω_r	C_d	Límite de altura en metros			
						Nivel de Protección			
						B	C	D	E
E4	SISTEMA DUAL								
	Marcos de concreto reforzado A								
	Con muros estructurales	NSE 7.1	7	2.5	5.5	SL	SL	SL	SL
	De concreto reforzado A	NSE 7.4	5.5	3	5	SL	SL	SL	SL
E5	De mampostería reforzada A								
	Marcos de acero tipo A	NSE 7.6	8	2.5	4	SL	SL	SL	SL
	con riostras excéntricas	NSE 7.5	7	2.5	5.5	SL	SL	SL	SL
	con riostras concéntricas especiales								
E5	COLUMNAS VOLADIZAS o PÉNDULO INVERTIDO								
	De concreto reforzado								
	Confinado	NSE 7.1	2.5	1.2	2.5	12	12	12	12
	De estructura de acero								
E6	Con detalles sísmicos	NSE 7.5	2.5	1.2	2.5	12	12	12	12
	De estructura de madera	NSE 7.7	1.5	1.5	1.5	12	12	12	12
	OTRO TIPO								
	Clasificar como E5, o bien, consultar exclusiones en NSE 3.1, NSE 4, NSE 5 o NSE 6.								

Fuente: Agies.

Para estructuras de acero se utilizará $R = 2,5$

Selección de parámetros:

Scr: ordenada espectral de período corto.

S1r: ordenada espectral con período de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

De la figura 7 se hace la selección de Scr y S1r, los cuales serían los siguientes:

$$Scr = 1,3 \text{ g}$$

$$S1r = 0,5 \text{ g}$$

Ajuste por clase de sitio:

$$Scs = Scr * Fa$$

$$S1c = S1r * Fv$$

Donde

Fa: coeficiente de sitio (índice de sismicidad) (tabla XIII)

Fv: coeficiente de sitio (índice de sismicidad) (tabla XIV)

Tabla XIII. **Coeficiente de Sitio Fa**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
E	1.7	1.2	1.0	0.9	0.9
F	se requiere evaluación específica -- ver sección 4.4.1				

Fuente: Agies.

Tabla XIV. **Coeficiente de Sitio Fv**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5
E	3.2	2.8	2.6	2.4	2.4
F	se requiere evaluación específica -- ver sección 4.4.1				

Fuente: Agies.

$$S_{cs} = (1,3 \text{ g}) (0,9)$$

$$S_{cs} = 1,17 \text{ g}$$

$$S_{1s} = (0,5 \text{ g}) (2,4)$$

$$S_{1s} = 1,2 \text{ g}$$

$$T_s = \frac{S_{1s}}{S_{cs}}$$

Donde

Ts: período de transición

$$T_s = \frac{1,2 \text{ g}}{1,17 \text{ g}}$$

Período que separa los períodos cortos de los largos

$$T_s = 1,0256$$

Espectro calibrado al nivel de diseño requerido:

$$S_{cd} = K_d * S_{cs}$$

$$S_{1d} = K_d * S_{1c}$$

Donde

K_d : factor de probabilidad del sismo

Figura 8. **Factor de probabilidad según el tipo de sismo**

Los siguientes factores determinan los niveles de diseño:		
Sismo ordinario	-- 10% probabilidad de ser excedido en 50 años	$K_d=0.66$
Sismo severo	-- 5% probabilidad de ser excedido en 50 años	$K_d=0.80$
Sismo extremo	-- 2% probabilidad de ser excedido en 50 años	$K_d=1.00$
Sismo mínimo	-- condición de excepción	$K_d=0.55$

Fuente: Agies.

$$S_{cd} = (1,17 \text{ g}) (0,8)$$

$$S_{cd} = 0,936 \text{ g}$$

$$S_{1d} = (1,2 \text{ g}) (0,8)$$

$$S_{1d} = 0,96 \text{ g}$$

Las ordenadas espectrales $S_a(T)$ para cualquier período de vibración (T), se definen como:

$$S_a(T) = S_{cd} \text{ si } T \leq T_s$$

$$S_a(T) = S_{1d} \text{ si } T > T_s$$

$$S_a(T) = S_{cs}$$

Componente vertical del sismo:

$$S_{vd} = 0,15 S_{cd}$$

$$S_{vd} = (0,15) (0,936 \text{ g})$$

$$S_{vd} = 0,1404 \text{ g}$$

El coeficiente sísmico de diseño sería:

$$C_s = \frac{0,936}{2,5}$$

$$C_s = 0,3744$$

Por lo tanto el corte basal

$$V_B = 0,3744 W_s$$

$$V_B = (0,3744) (10\,738,00 \text{ kg})$$

$$V_B = 4\,020,31 \text{ kg}$$

2.8.3. Dimensionamiento del puente colgante de hamaca

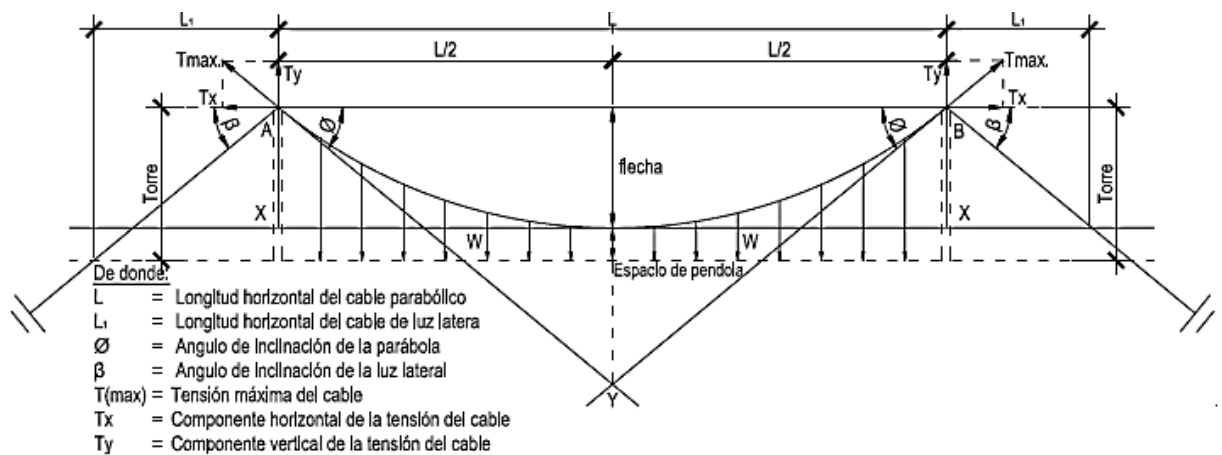
Se detallan los procedimientos de cálculo, consideraciones, criterios y límites en las variables más importantes, para el dimensionamiento estructural de las dos tipologías de puentes más usados:

- Puentes colgantes suspendidos de plataforma
- Puentes colgantes en suspensión

2.9. Geometría

La geometría del cable en este tipo de puentes funciona de la siguiente manera:

Figura 9. Geometría de un puente colgante



Fuente: análisis descriptivo de puentes colgantes peatonales.

2.9.1. Flecha

La Dirección General de Caminos, por tratarse de un puente peatonal colgante y paso de bestias recomienda una flecha del 2,5 % de la longitud del puente. Distancia del caminamiento del puente a diseñar es de 120 metros.

Cálculo de flecha del cable principal

- 2,5 % (longitud del puente)

$$F = 2,5 \% L$$

Donde

F = flecha

L = longitud horizontal del puente

$$F = 2,5 \% (120 \text{ m})$$

$$F = 3,00 \text{ m}$$

2.9.2. Altura de las torres

La altura de las torres variará de acuerdo con la topografía del lugar donde se construirá el puente peatonal colgante y la altura de la crecida máxima. Sin embargo, se utiliza el siguiente criterio para predimensionar dicha altura.

$$ht = F + 1,00$$

Donde

ht = altura de las torres

F = flecha

$$ht = 3,00 \text{ m} + 1,00$$

$$ht = (4,00 \text{ m como mínimo}) \text{ teórico}$$

Altura propuesta para las torres de acero = 5,50 m

$$\text{Longitud útil} = 5,44 \text{ m}$$

2.9.3. Luces laterales

$$LL = \frac{ht}{4\left(\frac{F}{d}\right)}$$

Donde

LL = luces laterales

d = distancia entre apoyos = L

ht = altura de las torres

F = flecha

$$LL = \frac{5,50 \text{ m}}{4\left(\frac{3}{120}\right)} = 55 \text{ m}$$

Luces laterales propuestas = 30 m

(ver plano de detalles hoja 1/2)

2.10. Péndolas

Son los elementos doblemente articulados que transmiten las cargas del tablero del puente y de las vigas de rigidez a los cables. Pueden estar formados por uno o dos cordones y de acuerdo con esto cambia la manera de conectarlos al cable. Estas péndolas se colocan verticalmente, aunque en algunos puentes se les ha colocado inclinadas para mejorar el comportamiento aerodinámico, pero esto aumenta la variación de esfuerzos debidos a la sobrecarga, por lo que no se les ha seguido empleando.

El espaciamiento entre péndolas se selecciona de manera que coincida con los nudos de la viga de rigidez, en puentes de pequeña luz se colocan en cada nudo y en puentes de luz grande generalmente cada dos nudos.

Área tributaria

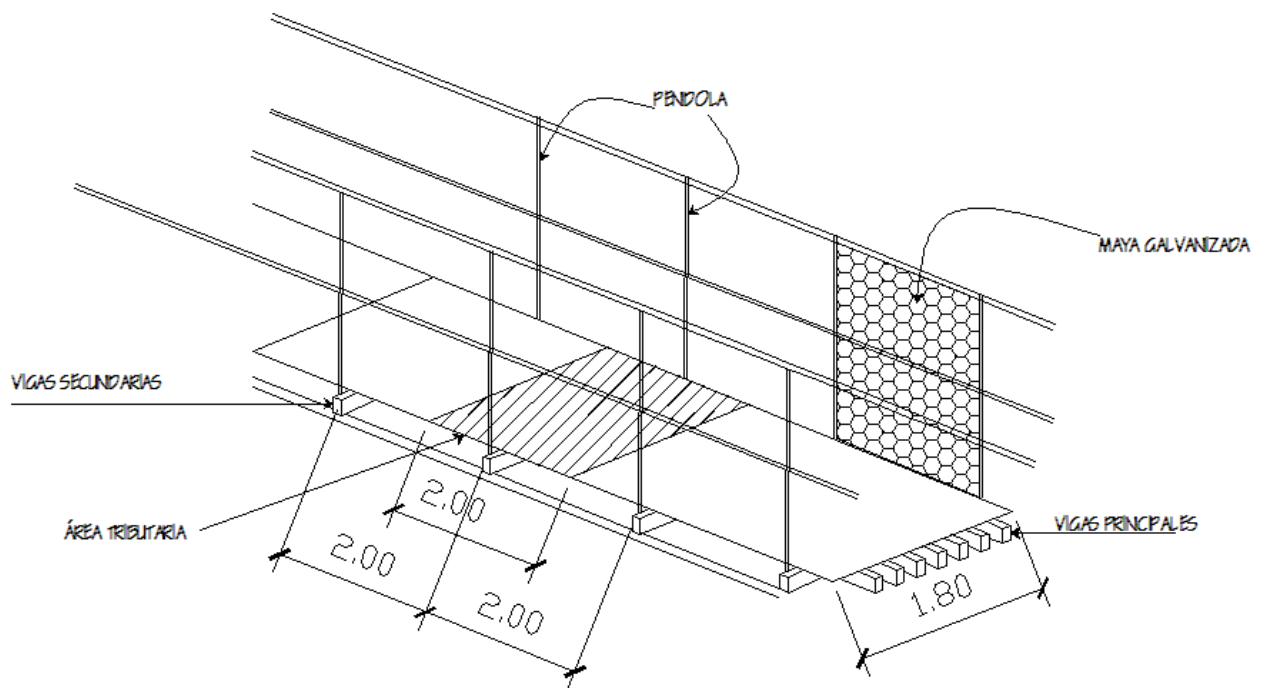
Ancho 2,00 m

Largo 2,00 m

$$A = 2,00 \text{ m} * 2,00 \text{ m} = 4,00 \text{ m}^2$$

Su cálculo se efectúa en el numeral 2.18.1

Figura 10. **Área tributaria para una péndola**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.11. Datos y bases de diseño

Para desarrollar el proyecto, se describen a continuación distintos valores con unidades de medida definidos, que serán utilizados en cada uno de los cálculos.

Esfuerzo máximo a compresión del concreto	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo de fluencia del acero	$f'y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$
Peso específico del concreto	$\gamma_c = 2\,400 \text{ kg/m}^3$
Peso específico del concreto ciclópeo	$\gamma_{cc} = 2\,200 \text{ kg/m}^3$
Peso específico mínimo de piedra bola	$\gamma_{pb} = 1\,390 \text{ kg/m}^3$
Peso específico del suelo	$\gamma_s = 1\,574,44 \text{ kg/m}^3$
Capacidad soporte del suelo	$V_s = 28,31 \text{ Ton/m}^2$
Esfuerzo a tensión de cable	$\partial_t = 115\,125 \text{ psi}$
Esfuerzo de corte de madera	$\partial_c = 351,90 \text{ kg/cm}^2$
Esfuerzo de flexión de madera	$\partial_f = 3\,519,05 \text{ kg/cm}^2$
Densidad de la madera	$\partial_m = 750 \text{ kg/m}^3$

2.12. Diseño del caminamiento

Estará diseñado por medio de tres cables, siendo el central el que resistirá el esfuerzo a tensión, con características físicas y mecánicas que cumplen con la Norma ASTM A-603 con un esfuerzo a tensión de 220 000 libras sobre pulgada cuadrada. Los dos cables secundarios servirán para fijar las barandas, el sistema de piso estará conformado por tablones de madera.

Para el diseño de este puente se utilizará madera de pino, tomando en cuenta su durabilidad y resistencia, la madera deberá ser tratada.

Se colocará vigas rigidizantes en forma transversal y la medida utilizada será la siguiente:

$$5'' \times 10'' \times 2 \text{ m}$$

2.13. Integración de cargas

Como todo puente, se consideran dos tipos de cargas verticales. La carga muerta (Cm); que está compuesta por la estructura del mismo. El otro tipo de carga a considerar, es la carga viva (Cv); que se encontrará en movimiento en determinado momento en el puente, como podrán ser personas, animales de carga como, más el peso de su carga.

La integración de cargas en el puente, se hará de la siguiente forma.

2.13.1. Carga viva

Esta carga es considerada a criterio del diseñador. Este tipo de carga es impropia a la estructura; estas son aplicadas al momento que una persona, objeto o animal se transporte por el puente al tratar de cruzarlo y para calcularla se toma en consideración.

En este caso las cargas utilizadas para el diseño del puente son:

Peso del tuc tuc	609,40 lb
Peso de 6 personas (90 kg c/u)	1 191,77 lb
Total	1 801,17 lb

Entonces $1\,801,17 \text{ lb} \times \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ lbs}} = 818,71 \text{ kg}$

El área donde se va a distribuir la carga viva se asume de un ancho del puente de 1,80 metros, se toma en consideración que en esta área el espaciamiento es permisible para un tuc tuc.

$$\text{Área de distribución: } 1,80 \times 2,00 = 3,60 \text{ m}^2$$

$$C_v = \frac{818,71 \text{ kg}}{3,6 \text{ m}^2} = 227,42 \text{ kg/m}^2$$

$$C_v = 227,42 \text{ kg/m}^2$$

2.13.2. Carga muerta

Para un metro del puente

4	Cable de 1 ½"	12,36 lb x 4	49,44 lb
5	Tablones	65,81 lb/tab x 5	329,05 lbs
2	Cable para barandal	4,12 lbs x 2	8,24 lbs
2	Malla galvanizada	7 lbs x 2	14,00 lbs
	Varillas de acero Ø 3/8"		2,46 lbs
	Sobrecarga		130 lbs
			<hr/>
			533,19 lb

$$\text{Entonces } 533,19 \text{ lbs} \times \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ lbs}} = 242,35 \text{ kg}$$

$$\text{Área de distribución: } 1,80 \times 2,00 = 3,60 \text{ m}^2$$

$$C_m = \frac{242,35 \text{ kg}}{3,6 \text{ m}^2} = 67,32 \text{ kg/m}^2$$

$$C_m = 67,32 \text{ kg/m}^2$$

2.13.3. Carga última

El valor de la carga última, no es más que la suma de las cargas muerta y viva, multiplicadas por un factor de seguridad diferente para cada una de ellas, lo que hará que la estructura se diseñe más robusta, asegurando que la estructura soporte sobre cargas en algún momento.

Determinando valor de carga última: según criterio ACI-318-08. Cap. 9

$$\text{Carga última (C. 9-1) } U = 1,4 C_m + 1,7 C_v$$

$$C_u = 1,4 (67,32 \text{ kg/m}^2) + 1,7 (227,42 \text{ kg/m}^2)$$

$$C_u = 480,862 \text{ kg/m}^2$$

Convirtiendo a carga distribuida para 1 metro del puente se usa la siguiente fórmula:

$$W = C_u \times \text{ancho del puente}$$

$$W = 480,862 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$$

$$W = 961,724 \text{ kg/m}$$

2.13.4. Refuerzos

Para conseguir la rigidez, el tablero ha de ser reforzado con riostras o estar formado por vigas transversales, y mediante tablones anclados a las vigas transversales, combinación que proporciona la máxima rigidez con mínimo peso.

2.14. Análisis y diseño del sistema de piso

Se utilizará madera de pino tratado por medio del método de impregnación a célula llena con solución (CCA), compuesta por cobre, cromo y arsénico; que actúan como fungicidas y bactericidas, protegiéndola de la pudrición y de los insectos, garantizando así la durabilidad de la madera por 15 años.

Propiedades mecánicas del pino

Compresión paralela a la fibra	1 100 lb/plg ²
Compresión perpendicular a la fibra	325 lb/plg ²
Peso seco aparente	59,50 lb/pie ³
Elasticidad	1,6 E+6 lb/pie ²
Esfuerzo al corte	120 lb/plg ²
Esfuerzo a la flexión	1 200 lb/plg ²

Tipo de madera a utilizar en el sistema de piso.

Madera rústica cuadrada:

Tablones de 2" x 1' x 10'

Peso propio de la madera: 49,50 lb/ft³

El tablón tendrá 1 in de espesor por 1 ft de ancho por 10 ft de largo

$$W_1 = 2 \text{ in} \times 12 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2} \times \frac{50 \text{ lb}}{1 \text{ ft}^3}$$

$$W_1 = 8,33 \text{ lb /ft}$$

$$W_1 = 12,42 \text{ kg/m}$$

Determinando el momento actuante en el caminamiento provocado por el peso propio de la madera.

Momento en tramos continuos.

$$M_1 = \frac{WL^2}{8}$$

$$M_1 = \frac{(12,42 \frac{\text{kg}}{\text{m}})(1)^2}{8} = 1,55 \text{ kg*m}$$

$$W_2 = \frac{W_{cv}}{\# \text{ piezas}}$$

$$W_2 = \frac{961,724 \text{ kg/m}}{6}$$

$$W_2 = 160,29 \text{ kg/m}$$

Momento actuante en el caminamiento provocado por Cu.

$$M_2 = \frac{W_2 L^2}{8}$$

$$M_2 = \frac{(160,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}})(1)^2}{8}$$

$$M_2 = 20,03 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Momento total

$$M_T = M_1 + M_2$$

$$M_T = 1,55 \text{ kg}\cdot\text{m} + 20,03 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_T = 21,58 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Verificación por el momento actuante

$$V = \frac{1}{2}W_{CM} + \frac{1}{2}W_{CV}$$

$$V = \frac{1}{2}(12,42 \text{ kg/m}) + \frac{1}{2}(160,29 \text{ kg/m})$$

$$V = 86,355 \text{ kg/m}$$

Calculando sección por corte

$$V_c = \frac{1,5 V}{A}$$

$$V_c = \frac{1,5 (86,355 \text{ kg})}{(0,0508 \times 0,3048)}$$

$$V_c = 8\,365,66 \text{ kg/m}^2$$

$$V_c < \partial c$$

$$\partial c = 84\,545,62 \text{ Kg/m}^2$$

Verificación de sección por flexión

$$F = \frac{MT \cdot t/2}{I}$$

Donde

t: grosor del tablón

M_T : momento total

I: inercia del elemento

$$F = \frac{(21,58)(0,0508/2)}{\frac{1}{12}(0,3048)(0,0508)^3}$$

$$F = 164\,611,55 \text{ kg/m}^2$$

Esfuerzo de flexión de madera $\partial f = 845\,456,24 \text{ Kg/m}^2$

$$V_c < \partial c \quad \text{y} \quad F < \partial f$$

Por lo tanto la sección propuesta será con la que se trabajará.

Tablón de 2" x 1' x 10'

2.14.1. Diseño de vigas principales de madera

Sección de:

Base (b_1) = 4"

Altura (h_1) = 5"

$$S = \frac{b_1 \times h_1^2}{6}$$

$$S = \frac{(4" \times 2,54)(5" \times 2,54)^2}{6}$$

$$S = 273,12 \text{ cm}^3$$

$$R = \frac{2}{3} (b1)(h1)$$

$$R = \frac{2}{3} (4" \times 2,54 \times 5" \times 2,54)$$

$$R = 86,02 \text{ cm}^2$$

Cargas actuantes

Momento por carga muerta

Peso del entablado

$$W = h \times d \times \partial m$$

Donde

W: peso del entablado

h: separación entre vigas principales

d: alto del tablón

∂m : densidad de la madera = 750 kg/m^3

$$W = (0,3 \text{ m})\left(\frac{2" \times 2,54}{100} \text{ m}\right)(750 \text{ kg/m}^3)$$

$$W = 11,43 \text{ kg/m}$$

Peso de vigas principales

$$W1 = b1 \times h1 \times \partial m \times 100$$

Donde

W1: peso de las vigas principales

b1: base

h1: altura

ρ_m : densidad de la madera

$$W1 = (4'' \times 0,0254 \text{ m} \times 5'' \times 0,0254 \text{ m})(750 \text{ kg/m}^3)(1,00)$$

$$W1 = 9,6774 \text{ kg/m}$$

Peso de clavos y otros 3 kg

$$\text{Peso total } Wd = 24,1074 \text{ kg/m}$$

Momento por carga muerta

$$M = \frac{Wd \times D^2}{8} \times 100$$

Donde

M: momento por carga muerta

Wd: peso total

D: separación entre vigas secundarias

$$M = \frac{(24,1074 \text{ kg/m}) (2\text{m})^2}{8} \times 100$$

$$M = 1\,205,37 \text{ kg m}$$

Cortante por carga muerta

$$V = Wd \times \frac{D}{2}$$

Donde

Wd: peso total

D: distancia entre vigas secundarias

$$V = (24,1074 \text{ kg/m})\left(\frac{2m}{2}\right)$$

$$V = 24,1074 \text{ kg}$$

Momento por carga viva

Momento por sobrecarga

$$ML = Sc \times \frac{D}{4}$$

Dnde

ML: momento por sobrecarga

Sc: carga viva con factor

D: distancia entre vigas secundarias

$$ML = (817 \text{ kg})(1,3)\left(\frac{2m}{4}\right) \times 100$$

$$ML = 53\,105 \text{ kg m}$$

Cortante por sobrecarga

$$V = Sc \times \frac{D}{2}$$

Donde

V: cortante por sobrecarga

Sc: carga viva con factor

D: distancia entre vigas secundarias

$$V = (817 \text{ kg}) (1,3) \left(\frac{2}{2}\right)$$

$$V = 1\,062,10 \text{ kg}$$

Chequeo

Esfuerzos actuantes totales a flexión:

$$E = \frac{(Md + ML)}{S}$$

$$E = \frac{(1\,205,37 \text{ kg cm} + 53\,105 \text{ kg cm})}{273,12 \text{ cm}^3}$$

$$E = 198,85 \text{ kg/cm}^2 < 210 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzos actuantes totales al corte:

$$V = \frac{(Vd + VI)}{R}$$

$$V = \frac{(24,1074 \text{ kg} + 1\,062,10 \text{ kg})}{86,0213 \text{ cm}^2}$$

$$V = 12,63 \text{ kg/cm}^2 < 15,00 \text{ kg/cm}^2$$

2.14.2. Diseño de vigas secundarias de madera

Sección de:

Base (b2) = 3"

Altura (h2) = 6"

$$S = \frac{b2 \times h2^2}{6}$$

$$S = \frac{(3" \times 2,54)(6" \times 2,54)^2}{6}$$

$$S = 294,96 \text{ cm}^3$$

$$R = \frac{2}{3} (b2)(h2)$$

$$R = \frac{2}{3} (3" \times 2,54 \times 6" \times 2,54)$$

$$R = 77,42 \text{ cm}^2$$

Cargas actuantes

Momento por carga muerta

Peso del entablado

$$W = h \times d \times \partial m$$

Donde

W: peso del entablado

h: altura del tablón

d: distancia entre vigas secundarias

∂m : densidad de la madera

$$W = (2'' \times 0,0254 \text{ m}) (2 \text{ m}) (750 \text{ kg/m}^3)$$

$$W = 76,20 \text{ kg/m}$$

Peso de vigas principales

$$W1 = b2 \times h2 \times N \times d \times \frac{\partial m}{A}$$

Donde

W1: peso de las vigas principales

b2: base de las vigas

h2: altura de las vigas

N: número de vigas principales

d: distancia entre las vigas secundarias

∂m : densidad de la madera

A: ancho útil del entablado

$$W1 = (3'' \times 0,0254 \text{ m} \times 6'' \times 0,0254 \text{ m}) (2 \text{ m}) (7) \left(\frac{750 \text{ kg/m}^3}{1,8 \text{ m}} \right)$$

$$W1 = 67,74 \text{ kg/m}$$

Peso de vigas secundarias

$$Wv = b2 \times h2 \times \partial m \times 1$$

Donde

Wv: peso de vigas secundarias

b2: base de las vigas

h2: altura de las vigas

ρ_m : densidad de la madera

$$W_v = (3'' \times 0,0254 \text{ m} \times 6'' \times 0,0254 \text{ m}) (750 \text{ kg/m}^3)$$

$$W_v = 8,71 \text{ kg/m}$$

Peso de clavos y otros 15 kg/m

$$\text{Peso total } W_d = 167,65 \text{ kg/m}$$

Momento por carga muerta

$$M_d = \frac{W_d \times A^2}{8}$$

Donde

W_d : peso total

A : ancho útil del entablado

$$M_d = \frac{(167,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}})(1,8\text{m})^2}{8} \times 100$$

$$M_d = 6\,789,88 \text{ kg cm}$$

Momento por la baranda

$$\text{Peso de baranda: } p = 70 \text{ kg}$$

Momento debido a la baranda

$$M_b = (70 \text{ kg}) (0,125 \times 100) \text{ m}$$

$$M_b = 875,00 \text{ kg m}$$

Momento total por carga muerta: 875 kg m + 6 789,88 kg m

$$\text{Momento total} = 7\,664,88 \text{ kg m}$$

Cortante por carga muerta

$$V_d = \frac{W_d \times A}{2}$$

Donde

Vd: cortante por carga muerta

Wd: peso total

A: ancho útil del entablado

$$V_d = \frac{(167,65 \frac{kg}{m})(1,8 \text{ m})}{2}$$

$$V_d = 150,89 \text{ kg}$$

Corte por la baranda muerta

$$V = P$$

Donde

V: cortante por la baranda

P: peso de la baranda

$$V = 70 \text{ kg}$$

Momentos por sobrecarga

$$ML = \frac{Sc \times A^2}{8}$$

Donde

ML: momento por sobrecarga

Sc: carga viva con factor

A: ancho útil del entablado

$$ML = \frac{(817 \text{ kg})(1,3)(1,8)^2}{8} \times 100$$

$$ML = 43\,015,05 \text{ kg}$$

Cortante por sobrecarga

$$VI = \frac{Sc \times A}{2}$$

Donde

VI: corte por sobrecarga

Sc: carga viva con factor

A: ancho útil del entablado

$$VI = \frac{(817 \text{ kg})(1,3)(1,8 \text{ m})}{2}$$

$$VI = 955,89 \text{ kg}$$

Esfuerzos actuantes totales a flexión

$$E = \frac{(Md + Mb + ML)}{S}$$

Donde

Md: momento por carga muerta

Mb: momento por la baranda

ML: momento por sobrecarga

$$E = \frac{(6\,789,88 \text{ kg cm} + 7\,664,88 \text{ kg cm} + 43\,015,05 \text{ kg cm})}{294,96 \text{ cm}^3}$$

$$E = 194,83 \text{ kg/cm}^2 < 210 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzos actuantes totales al corte

$$V = \frac{(Vd + VI + Vb)}{R}$$

Donde

Vd: cortante por carga muerta

VI: cortante por sobrecarga

Vb: cortante por la baranda

$$V = \frac{(150,88 \text{ kg} + 955,89 \text{ kg} + 70 \text{ kg})}{77,42 \text{ cm}^2}$$

$$V = 13,68 \text{ kg/cm}^2 < 15,00 \text{ kg/cm}^2$$

2.15. Análisis y diseño del cable principal

Para establecer la cantidad de cables necesarios en el puente, se tomará en cuenta los valores de carga anteriormente establecidos, se utilizará cable estructural regido por la Norma ASTM A-603.

Para determinar la tensión a la que serán sometidos los cables principales en el puente, se utilizará la siguiente fórmula según el libro de R. C. Hibbeler para tensión en cables, capítulo 5 Ec. 5-11.

$$T = \left(\frac{WL}{2}\right) \left(\sqrt{1 + \frac{L^2}{16f^2}}\right)$$

Donde

L: longitud del puente (m)

W: carga distribuida

F: flecha del puente

$$T = \left(\frac{971,552 \times 120}{2}\right) \left(\sqrt{1 + \frac{(120)^2}{16(3)^2}}\right)$$

$$T = 585\,838,60 \text{ kg}$$

F.S. = 40 % (factor de seguridad R. C. Hibbeler)

$$T_{\text{Fac}} = (585\,838,60 \text{ kg}) (1,40)$$

$$T_{\text{Fac}} = 820\,174,04 \text{ kg}$$

Donde

T_{Fac} = tensión con factor de seguridad.

2.15.1. Cable principal

Para elegir un cable se tiene que verificar que este debe ser resistente, lo suficiente para prevenir la máxima carga que pueda ser aplicada y con un adecuado factor de seguridad; además, debe resistir dobleces o flexiones repetidas sin que los cables fallen por fatiga y el desgaste abrasivo, la distorsión y aplastamiento.

Determinación del área de acero necesario

$$\sigma = \frac{T_{Fac}}{A}$$

Despejando el área de la ecuación

$$A = \frac{T_{Fac}}{\sigma}$$

$$\sigma = [\text{kg/cm}^2]$$

$$\sigma_{\text{acero}} = 220\,000 \text{ lb/in}^2$$

$$\sigma_{\text{acero}} = 15\,500,031 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{FS*acero} = 15\,500,031 \text{ kg/cm}^2 \times 0,65$$

$$\sigma_{\text{acero}} = 10\,075,02 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{820\,174,04\text{ kg}}{10\,075,02\text{ kg/cm}^2}$$

$$A = 81,40\text{ cm}^2$$

Se utilizará 8 cables de diámetro 2", cada cable tiene un área de 11.616 cm². Dos paquetes de 4 cables a cada lado del puente (ver detalle 1).

$$8\text{ cables} \times 11,616\text{ cm}^2 = 92,928\text{ cm}^2$$

Revisión

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma \text{ de tensión} = \frac{820\,174,04\text{ kg}}{92,928\text{ cm}^2}$$

$$\sigma \text{ de tensión} = 8\,825,90\text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma \text{ que resiste el cable} = 10\,075,02\text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma \text{ que se necesita} = 8\,825,90\text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto,

$$\sigma \text{ que resiste el cable} > \sigma \text{ que se necesita}$$

$$10\,075,02\text{ kg/cm}^2 > 8\,825,90\text{ kg/cm}^2$$

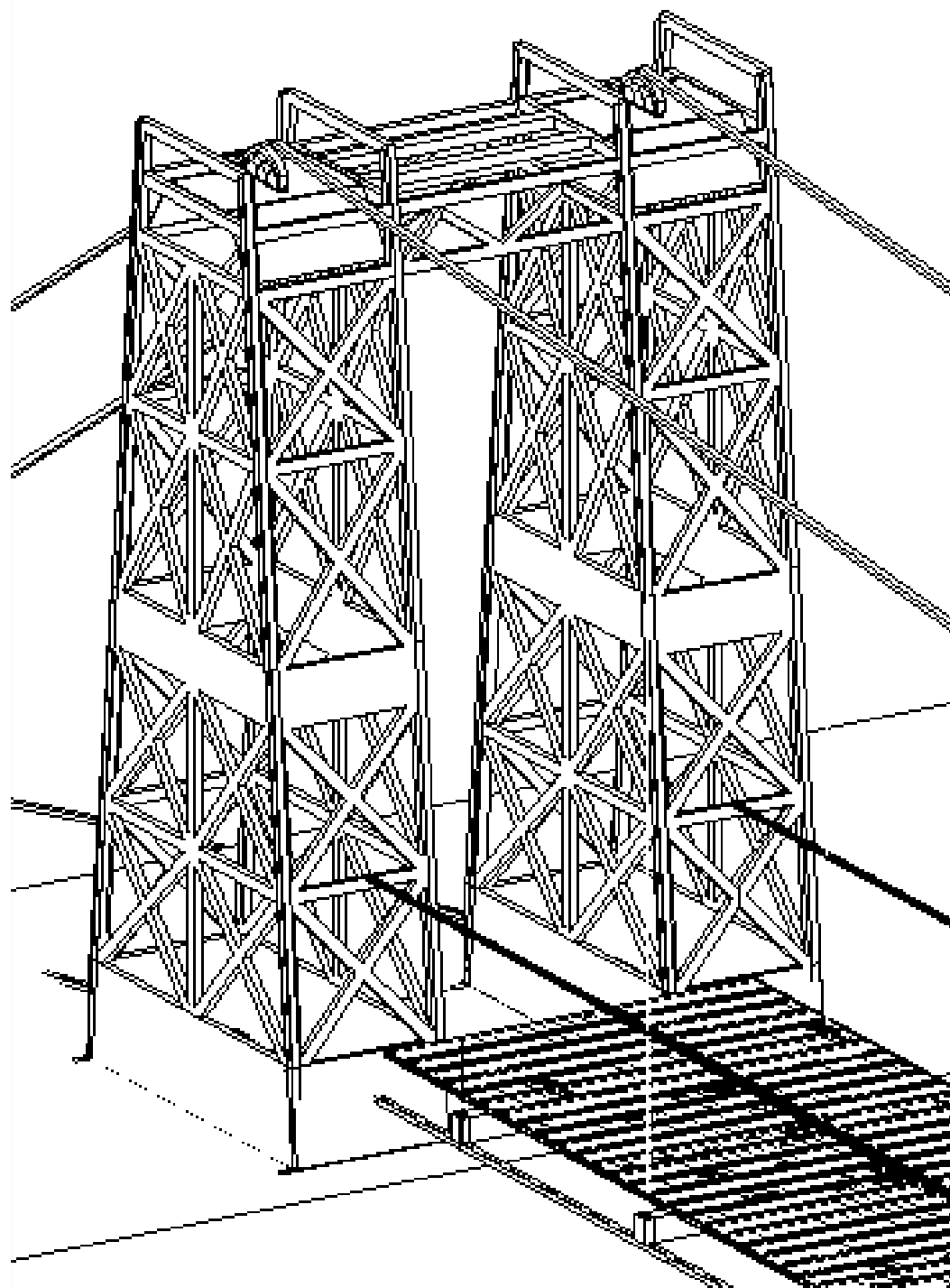
2.15.2. Tensores

Tensores: los cables tensores son utilizados para darle estabilidad al puente contra cargas de viento. Su cálculo está en el numeral 2.18.

2.15.3. Torres

Estas por lo general, son construidas de acero, ya sea de perfil cuadrado y rectangular, por la facilidad de construcción y montaje, estos van unidas a las elongaciones de las cimentaciones, por medio de pernos, para un mejor anclaje.

Figura 11. Torre de estructura metálica



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

2.15.3.1. Predimensionamiento de columnas

Las torres mencionadas como de izquierda a derecha, poseen entre sí una distancia de 120 metros, ubicadas cerca de las estaciones (E-1) y (E-6) respectivamente. Encontrándose ambas con niveles de 100,00 metros y 99,93 metros respectivamente.

Se modificará la altura en las torres quedando a un mismo nivel, se calculará con la siguiente fórmula:

$$H = \Delta h + h_{\text{columna}}$$

Donde

Δh = diferencia de alturas

f = flecha

h_{columna} = altura de columna

Cálculo de diferencia de torres

$$\Delta h = 100,00 \text{ m} - 99,93 \text{ m}$$

$$\Delta h = 0,07 \text{ m}$$

$$H = \Delta h + h_{\text{columna}}$$

$$H = 0,07 \text{ m} + 5,50 \text{ m}$$

$$H = 5,57 \text{ m}$$

Por lo tanto, la torre de la estación E-6 tendrá una altura de 5,57 m.

2.15.3.2. Cálculo de tensión del cable en la columna

Debido a que el cable principal carga todos los tramos de la plataforma, es necesario integrar esa cantidad para el cálculo total.

$$\text{Módulos} = \frac{\text{Longitud del puente}}{\text{Long. Módulo}}$$

$$\text{Módulos} = 120 \text{ m} / 2 \text{ m} = 60 \text{ módulos}$$

Integración de carga = 1,4 Cv + 1,7 Cm en kg

$$1,4 (818,71 \text{ kg}) + 1,7 (242,35 \text{ kg})$$

$$\text{Carga} = 1\,558,19 \text{ kg}$$

$$60 \text{ módulos} \times 1\,558,19 \text{ kg} = 93\,491,40 \text{ kg}$$

$$\text{Carga distribuida} = \frac{\text{Carga}}{\text{Longitud}}$$

$$\text{Carga distribuida} = \frac{93\,491,40 \text{ kg}}{120,00 \text{ m}} = 779,10 \text{ kg/m}$$

Tensión máxima del cable (Tm) según libro de R. C. Hibbeler, capítulo 5
Ec. 5-10:

$$T_m = \frac{Ct \times L^2}{8 \times F} \times \sqrt{1 + (16 \times n^2)}$$

Donde

Tm: tensión máxima del cable

Ct: carga distribuida en el puente

L = longitud del puente

F: flecha

n: F/L

$$T_m = \frac{779,10 \frac{kg}{m} \times (120 m)^2}{8 \times 3 m} \times \sqrt{1 + (16 \times 0,025^2)}$$

$$T_m = 469\,791,49 \text{ kg}$$

Como el puente está cargado por dos juegos de cables, uno en cada extremo; se debe de dividir en 2 la tensión.

$$T_m = \frac{469\,791,49 \text{ kg}}{2}$$

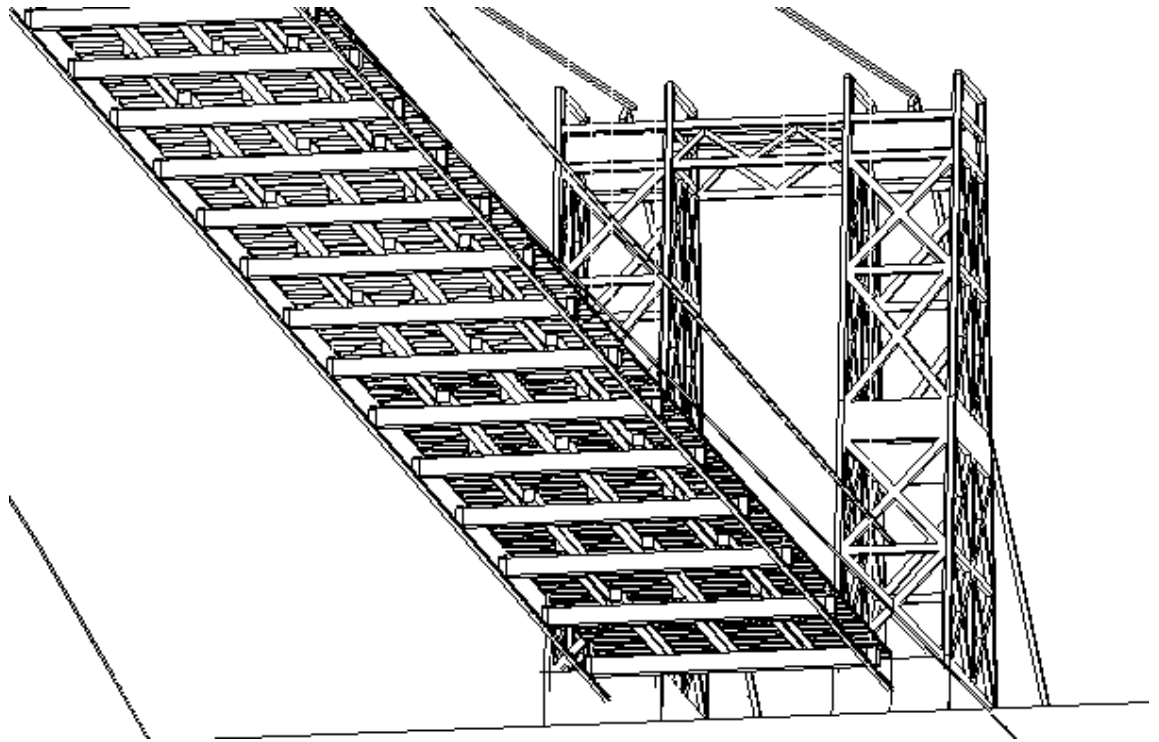
$$T_m = 234\,895,74 \text{ kg}$$

2.15.3.3. Refuerzo longitudinal y transversal

Plataformas de paso

Estos constan de las vigas principales, secundarias, que son de madera y la superficie de paso por lo general, se usan tablones. También se puede usar una estructura mixta entre vigas principales de acero y vigas secundarias de madera. Tiene que tenerse especial cuidado con las vigas secundarias, ya que ahí se instalarán las conexiones para anclarlos a las péndolas, ya que de ahí, serán suspendidos. Para los puentes de hamaca, solo son necesarios los tablones, ya que es su único sistema de paso, además de los cables inferiores.

Figura 12. **Plataforma de paso con vigas de madera**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

2.16. Anclaje

Todas las cimentaciones son diseñadas bajo los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas.

2.16.1. Muerto

Es el elemento estructural situado en cada una de las orillas del puente donde los cables se sujetan al suelo, es aquí donde se brinda a los cables principales la tensión adecuada.

2.16.1.1. Predimensionamiento

Puente simétrico para efectos de predimensionamiento del muerto.

$W = 10\,738,00$ kg (peso total de la estructura)

Relación $B = 2H$

Peso del concreto ciclópeo: $2\,400$ kg/m³

$$\begin{aligned} 2\,400 \text{ kg} &= 1 \text{ m}^3 \\ 10\,738 \text{ kg} &= x \text{ m}^3 \\ x &= 4,50 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Vol} = 2H \times H \times H$$

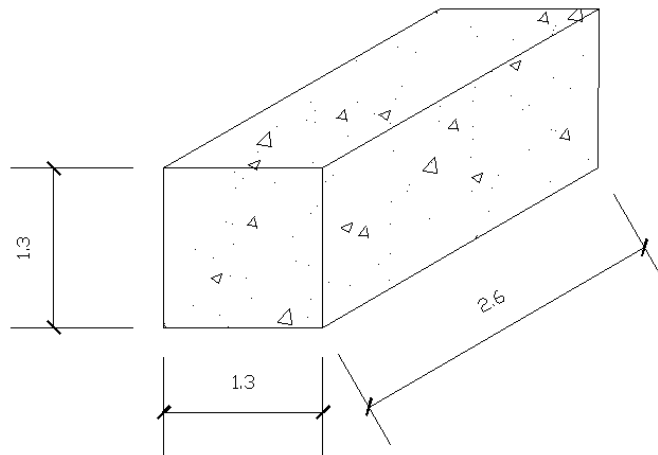
$$\text{Vol} = 2H^3$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{4,5}{2}}$$

$$H = 1,3 \text{ m}$$

Por lo que cada muerto deberá tener las siguientes dimensiones en metros representadas en el siguiente isométrico.

Figura 13. **Isométrico del muerto**



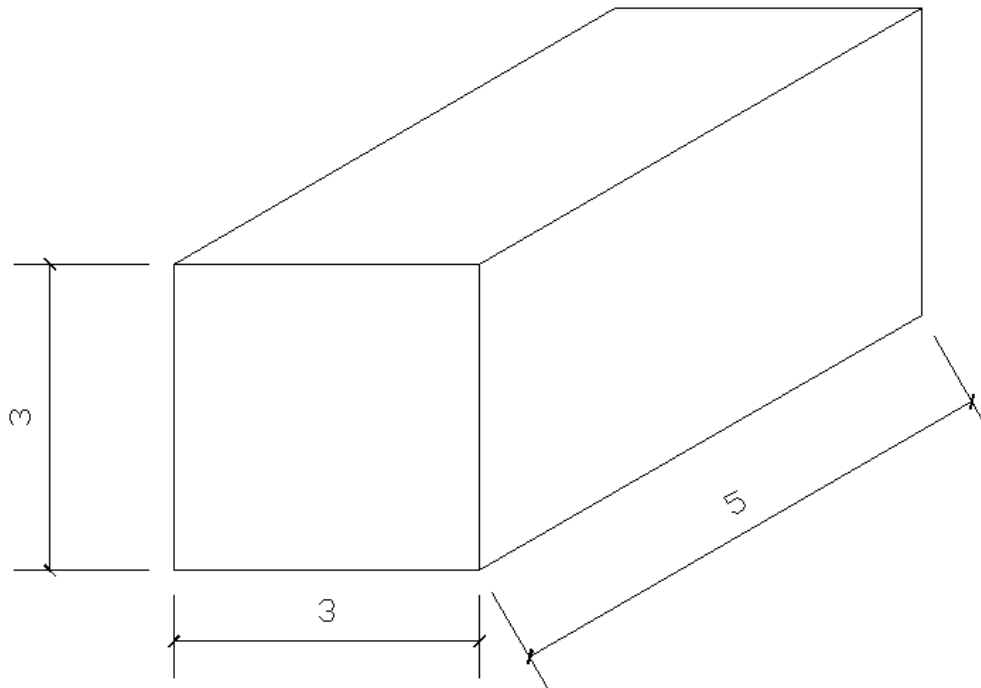
Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

2.16.2. Anclaje principal

Concreto ciclópeo: (34 % concreto – 66 % piedras) para puentes colgantes suspendidos de hamaca, se perfila como una excelente opción, por su economía, facilidad de construcción y obtención de materiales, especialmente la piedra. No se debe usar con puentes colgantes con plataforma rígida.

Por acuerdo de la Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán se trabajará con los muertos existentes del puente anterior, los cuales son 4 muertos de concreto; 2 individuales en cada torre, los cuales tienen las siguientes dimensiones en metros:

Figura 14. **Isométrico de muertos existentes**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD.

2.17. **Análisis y diseño de torres**

Se proponen torres de estructura de acero, cada columna consiste en 4 tubos proceso Ø 4" longitudinales, y refuerzo diagonal de tubo proceso de Ø 3", según AISC para ambos elementos. Cada columna tiene 1,00 m x 2,20 m, y cada par de torres se encuentra unido por elementos rigidizantes de 4 tubos proceso Ø 4" diagonales en la parte superior de la estructura de las torres.

Cálculo por cada columna

$$\text{Carga} = \frac{234\,895,74 \text{ kg}}{2} = 117\,447,87 \text{ kg}$$

$$\text{Carga de viento} = 317,94 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Área crítica de la torre} = (\text{ancho} \times \text{alto})$$

$$\text{Área crítica de la torre} = (3,50 \text{ m} \times 5,50 \text{ m})$$

$$\text{Área crítica de la torre} = 19,25 \text{ m}^2$$

Según Agies 8.2.3 se debe mayorar la carga de viento con un factor de 1,3

$$\text{Carga de viento} = (1,3) (317,94 \text{ kg/m}^2) (19,25 \text{ m}^2)$$

$$\text{Carga de viento} = 7\,956,45 \text{ kg}$$

$$\text{Carga de sismo} = 4\,020,31 \text{ kg}$$

$$\text{Carga total} = 129\,424,63 \text{ kg}$$

Componente vertical de la tensión del cable de la columna (Pv)

$$P_v = \text{carga total} \times \text{sen } \theta$$

$$P_v = 129\,424,63 \times \text{sen } 30^\circ$$

$$P_v = 64\,712,32 \text{ kg}$$

Peso propio estimado (Wp)

Refuerzo longitudinal de joist 4 Ø 4" según AISC

$$4 \times (81,84 \text{ kg/m}) = 327,36 \text{ kg/m}$$

Refuerzo transversal de Ø 3" según AISC

$$9 \times (43,39 \text{ kg/m}) = 390,51 \text{ kg/m}$$

$$\text{Peso puntual total} = 717,87 \text{ kg/m}$$

Para ambas torres se multiplica por dos:

$$\text{Peso puntual total} = 717,87 \text{ kg/m} \times 2 \text{ m}$$

$$\text{Peso puntual total} = 1\,435,74 \text{ kg}$$

Peso soportado por una columna (Pc)

$$P_c = P_v + W_p$$

Donde

Pc: peso soportado por una columna

Pv: componente vertical de la tensión del cable

Wp: peso puntual total

$$P_c = 64\,712,32 \text{ kg} + 1\,435,74 \text{ kg}$$

$$P_c = 66\,148,06 \text{ kg}$$

Cálculo de la capacidad de soporte de la sección de las columnas:

Área de los 4 tubos, c/ columna = (A)

$$A = 4 \times (9,62 \text{ in}^2)$$

$$A = 38,48 \text{ in}^2$$

$$\text{Inercia (I)} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$\text{Radio de giro (Rg)} = \sqrt{I/A}$$

$$\text{Inercia} = 4 \times (3,02 \text{ in}^4)$$

$$Rg = \sqrt{\frac{12,08 \text{ in}^4}{38,48 \text{ in}^2}}$$

$$I = 12,08 \text{ in}^4$$

$$Rg = 0,56 \text{ in}$$

Esbeltez (λ)

$$K = 1$$

$$\lambda = \frac{k \times h}{Rg}$$

$$\lambda = \frac{1 \times 18,04 \text{ ft}}{0,56 \text{ in}}$$

$$\lambda = 32,22 \text{ ft/in}$$

Cálculo de $F_a = (\text{kips/in} \times \text{Ig}^2)$

$$F_a = (\text{kips/in} \times \text{Ig}^2) \times (32,22 \text{ ft/in})$$

$$F_a = 13,33 \text{ kips/in}^2$$

Presión (P)

$$P = F_a \times A$$

$$P = (13,33 \text{ kips/in}^2) \times (38,48 \text{ in}^2) \times (1\,000 \text{ lb})$$

$$P = 512\,940 \text{ lb} / 2,2 \text{ lb/kg}$$

$$P = 233\,153,80 \text{ kg}$$

Chequeo final

$$P \geq P_c$$

$$233\,153,80 \text{ kg} \geq 66\,148,06 \text{ kg}$$

Por lo tanto si cumple el criterio

2.18. Análisis y diseño de los tensores

Según la Dirección General de Caminos, para los tensores deben utilizarse los siguientes valores:

$$h_t < 9,00 \text{ m} \quad P_v = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$h_t > 9,00 \text{ m} \quad P_v = 150 \text{ kg/m}^2$$

h_t : es la altura de las torres

$$h_t = 5,50 \text{ m}$$

$$P_v = 100 \text{ kg/m}^2$$

Factor de seguridad 1,8

$$P_v = (100 \text{ kg/m}^2) \times (1,8)$$

$$P_v = 180 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{Cu} = 1,4 \text{ Cm}$$

$$W_{Cu} = 1,4 \times (71,34 \text{ kg/m}^2)$$

$$W_{Cu} = 99,876 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{total} = (P_v + W_{Cu}) \times 1 \text{ m}$$

$$W_{total} = (180 \text{ kg/m}^2 + 99,88 \text{ kg/m}^2) \times 1 \text{ m}$$

$$W_{total} = 279,88 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la tensión en el cable tensor

$$T = W_{total} \times (L/2)$$

$$T = (279,88 \text{ kg/m}) \times (60 \text{ m})$$

$$T = 16\,792,80 \text{ kg}$$

Cálculo del área requerida para el acero a tensión

$$A = P/\sigma$$

$$A = 16\,792,80\,kg / 15\,500,03\,kg/cm^2$$

$$A = 1,08\,cm^2 \text{ para la mitad del puente}$$

Si se utiliza un cable de 1" Ø por mitad del puente se obtendrá

$$\text{Área del cable de diámetro 1" = } 1,92\,cm^2$$

$$\text{Área de diseño} > \text{Área requerida}$$

$$1,92\,cm^2 > 1,08\,cm^2$$

Se utilizará un tensor en cada lado del puente, debido a lo largo del mismo y para poder contrarrestar el volteo.

2.18.1. Diseño de péndolas

Varillas verticales que sostienen el piso del puente colgante.

$$F_{adm} = (0,60) (f_y)$$

$$f_y = 4\,200\,kg/cm^2$$

$$A_{péndola} = \frac{P}{0,6 f_y}$$

Donde

P: cortante total

f_y : esfuerzo de fluencia del acero

$$A_{\text{péndola}} = \frac{V_d + V_b + V_l}{0,6 f_y}$$

$$A_{\text{péndola}} = \frac{150,89 \text{ kg} + 70 \text{ kg} + 955,89 \text{ kg}}{(0,60)(4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})}$$

$$A_{\text{péndola}} = 0,4668 \text{ cm}^2$$

Se utilizarán péndolas de Ø ½" con un área de 1,27 cm²

2.19. Barandales para el caminamiento

Por motivos estrictamente de seguridad, tomando en cuenta que en el puente circularán personas y especialmente niños, el puente contará con un sistema de barandales de la siguiente forma:

- Un cable de acero de ½ pulgada de diámetro en sentido longitudinal del puente, a una distancia de 1,00 metro del piso.
- Barandas de hierro de acero de 3/8 pulgada de diámetro a cada 2,00 metros en ambos lados del puente.
- Se colocará malla galvanizada en ambos lados del puente, desde las rampas de acceso a modo de proteger al usuario a lo largo de toda la estructura, evitando su caída por todos los lados del puente.

2.20. Especificaciones técnicas

En cuanto a especificaciones generales, se tienen las siguientes para los cables:

- Empezar a desenrollar por el extremo del cable, nunca por el interior.
- Evitar el distorsionamiento de los cables.
- Antes de cortar el cable, hacer las ligaduras oportunas para evitar que se deshagan los extremos.
- Los cables se tensan uno por uno con una llave o gato Stilson.

Para aumentar la duración de los cables se debe proceder de la siguiente manera:

- El cable no debe rozar con cuerpos duros o de aristas vivas.
- Engrasar el cable, teniendo en cuenta que esta grasa debe ser neutra, para evitar corrosiones.
- Los cables sometidos a rozamiento intenso deben llevar alambres gruesos en el exterior.
- Las gargantas de poleas y tambores deben ser las adecuadas al diámetro del cable, y deben estar perfectamente pulidas.
- Los cables deben arrollarse en los tambores, en una sola capa.
- Deben evitarse poleas muy pesadas y de gran inercia.
- Deben usarse cables galvanizados y de alambre gruesos.

Para el desarrollo del proyecto se tienen las siguientes especificaciones:

- Cada cable principal debe tener un anclaje en los extremos. La separación mínima entre anclajes será de 30 centímetros (ver detalle 3).

- El anclaje se colocará formando un ángulo de 90° con el principal.
- Las barras del barandal deberán estar a 122 centímetros entre sí, debiendo absorberse la diferencia en los tramos extremos.
- La unión entre el cable de barandal y las barras del barandal debe ser fuerte que no permita el desalojamiento (ver plano de detalles 2/2).
- Para sujetar las vigas de madera a cada uno de los cables principales, a cada lado de un cable se colocará un sujetador con clavos de 6 plg. para fijarlo (ver detalle 4).
- Los cables principales se fijarán con abrazaderas (ver detalle 7).
- En toda la parte exterior del puente, se colocará malla de alambre galvanizado de acero. La malla se sujetará a los cables por medio de amarres de alambre galvanizado (ver figura 10).
- La madera debe ser tratada contra la pudrición con carbolíneo a presión.

Concreto

El concreto a utilizar será de clase tipo A, se hará con proporciones 1:2:2 cemento, arena y piedrín respectivamente, el cemento será de 4 000 PSI, la arena debe estar libre de materia vegetal y tener una granulometría regular, el piedrín será exclusivamente triturado, en ningún caso se permitirá una baja calidad de estos materiales, el mezclado se hará en un lugar limpio y libre de contaminantes orgánicos, debiendo hacer este con mezcladora, al final debe curarse el concreto por un período de 28 días para que alcance su resistencia óptima, la resistencia del concreto debe ser de 217 kg/cm².

Concreto ciclópeo

Se utilizará un 65 % de piedra y un 35 % de mortero. Las proporciones a utilizar serán de 1:3 cemento y arena respectivamente y piedra, la arena debe estar libre de materia vegetal y tener una granulometría regular, la piedra deberá ser uniforme en tamaño y forma, su diámetro debe estar comprendido entre 4" a 10" y el cemento será de 4 000 PSI.

La malla debe ser tejida y el alambre debe ser de 2,64 mm y la cubierta de zinc no será menor a 270 gr/m². La tensión promedio del alambre no será menor a 380 N/mm²; se utilizará como barandal del caminamiento según se detalla en la figura 10.

2.20.1. Matriz de evaluación

Tabla de doble entrada donde se describen criterios y niveles de calidad de cierto objetivo, de complejidad alta. Son unas guías de puntuación usadas en la evaluación del trabajo que describen las características específicas de un proyecto.

Figura 15. **Matriz de evaluación**

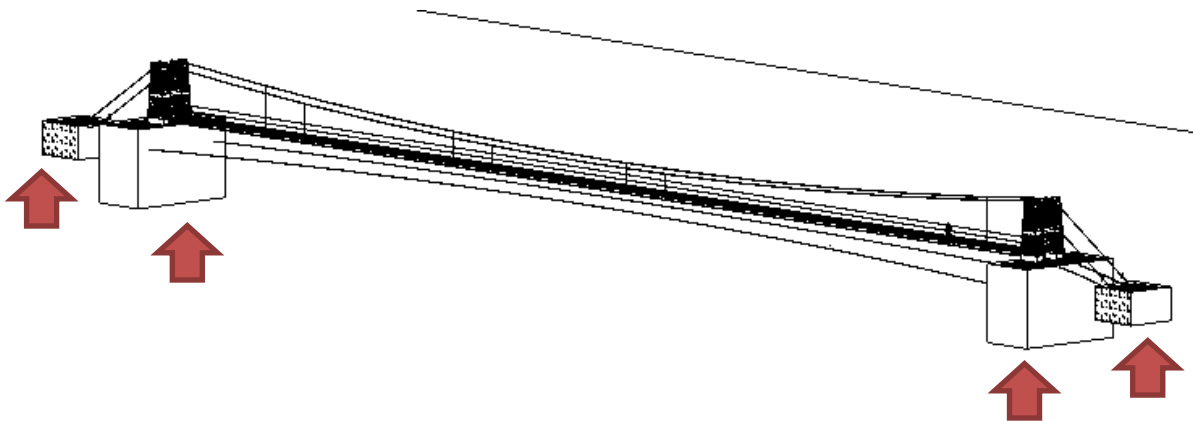
1. Tipo de puente:	Hamaca		Suspendido plataforma rígida	
2. Nombre del puente:				
3. Ubicación del puente:				
4. Longitud horizontal:			5. Ancho útil del puente:	
5. Flecha del puente:				
6. Grosor del cable secundario:			7. Grosor del cable principal:	
8. Datos de las tablas de paso:				
Largo				
Ancho				
Grosor				
9. Datos de las torres				
Altura de las torres				
Ancho				
Grosor				
10. Particularidades:				

Fuente: análisis descriptivo de puentes colgantes peatonales, en la costa sur de Guatemala.

2.21. Fases constructivas del puente colgante flexible de hamaca

1. Fundición de cimentaciones y anclajes. Estos elementos deben ser contruidos de manera tal, que sean precisos y alineados entre sí, para evitar cualquier error en las medidas de construcción, la transmisión de fuerzas laterales a otros elementos, y accesibilidad de inspección y mantenimiento. Con respecto a los cables, estos deben ser conectados por medio de cilindros trabados en el interior de dicha cimentación.

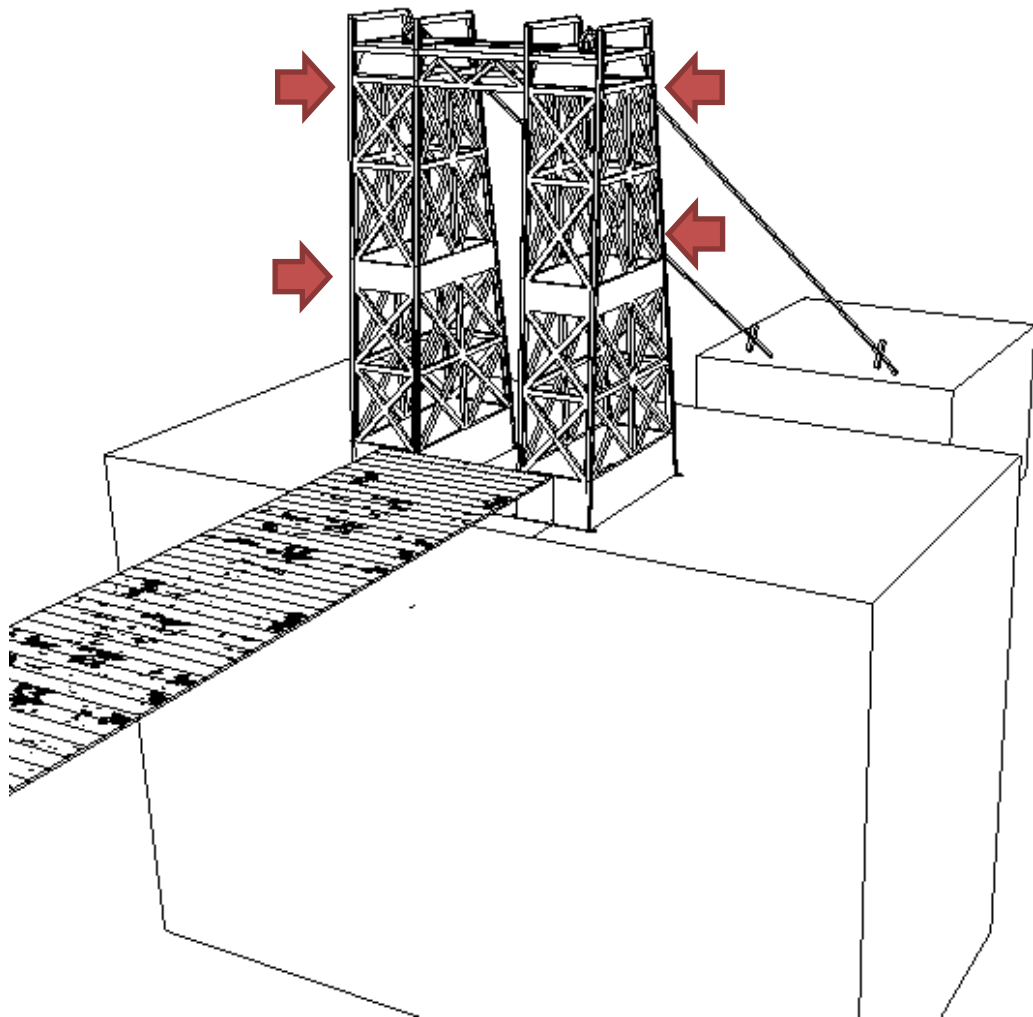
Figura 16. Fundición de cimiento y anclaje



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

2. Erección de las torres. Cuando son construidas de acero estructural, estas serán instaladas en la prolongación de la cimentación principal, y serán de estructura de alma abierta. Se debe tener cuidado especial en la colocación de las monturas de los cables principales (que son los elementos que van en la parte superior de esta), los cuales deben quedar centrados y fijados, conforme a los requerimientos estructurales (ver detalle 2).

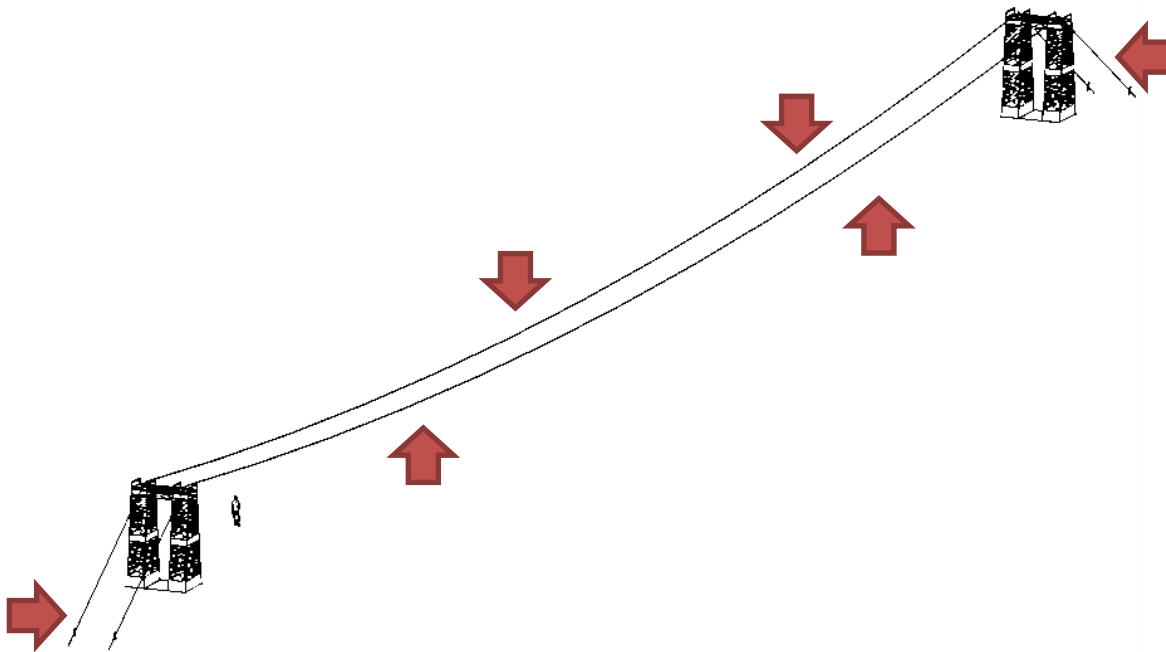
Figura 17. **Erección de torres**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

3. Montaje de los cables principales. La instalación de cables desenrollado, se procede a llevarlo hacia las torres para su colocación, es recomendable tener marcas en los tramos del cable que serán las longitudes de desarrollo de los tirantes laterales, de la parábola, y los puntos de apoyo en las torres. Para esta fase, es necesaria la instalación de cables auxiliares, con una flecha menor que el cable principal, que servirán para el tendido de los cables principales y posteriormente para el tendido de las péndolas. Este cable auxiliar puede ser de Ø1/2" ya que soportará el paso del cable principal, además de su propio peso.

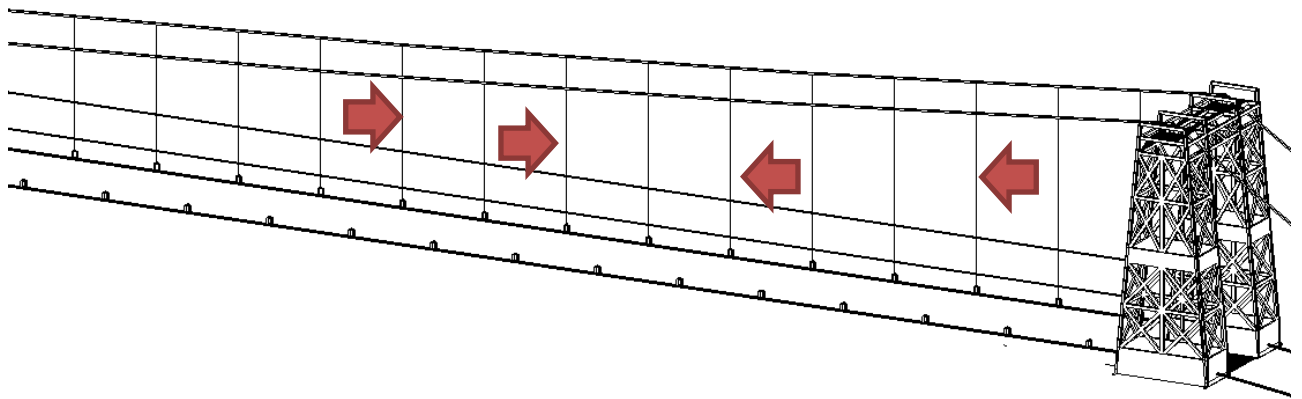
Figura 18. **Montaje de cables principales**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

4. Instalación de los cables secundarios (péndolas). Sobre los cables auxiliares se instala una cabina, metálica de preferencia, que funciona como plataforma de trabajo para la instalación de las péndolas. Esta plataforma se desliza sobre los cables auxiliares, el movimiento de la cabina se hace mediante malacates o poleas, jalando hacia delante o hacia atrás según se necesite. Las longitudes de las péndolas deben ser cuidadosamente calculadas en el numeral 2.18.1, tomando en cuenta las conexiones, las de cable principal-péndola y péndola-vigas principales, dejando cierto margen para ajustes finales de montaje.

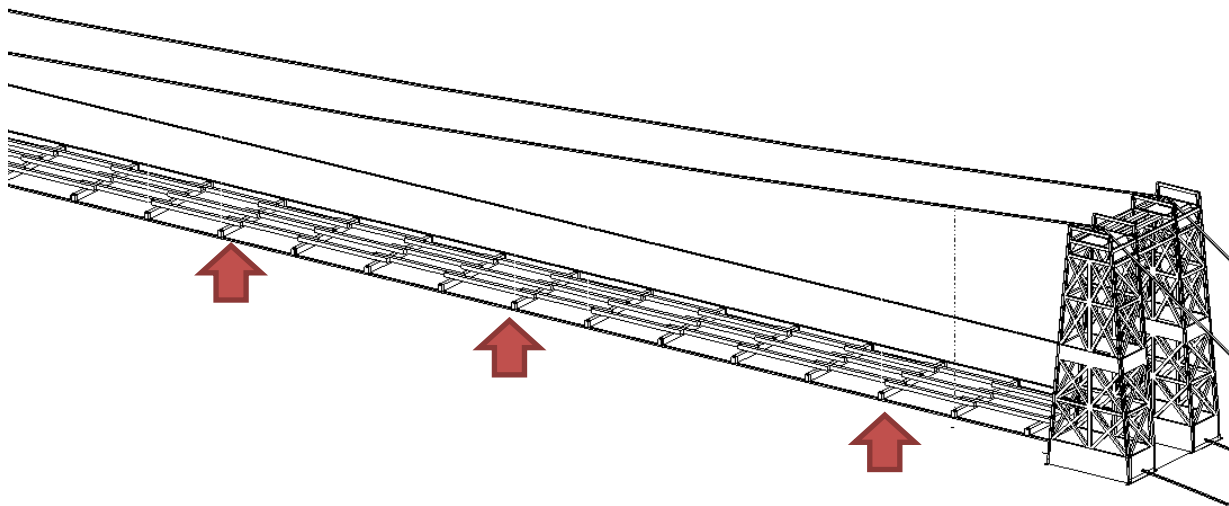
Figura 19. **Instalación de cables secundarios**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

5. Colocación de las vigas primarias y secundarias. La colocación de las vigas primarias también se puede hacer mediante el sistema descrito anteriormente, aunque la instalación del resto de la plataforma no tiene mayor dificultad. Su cálculo se realizó en los numerales 2.14.1 y 2.14.2 respectivamente.

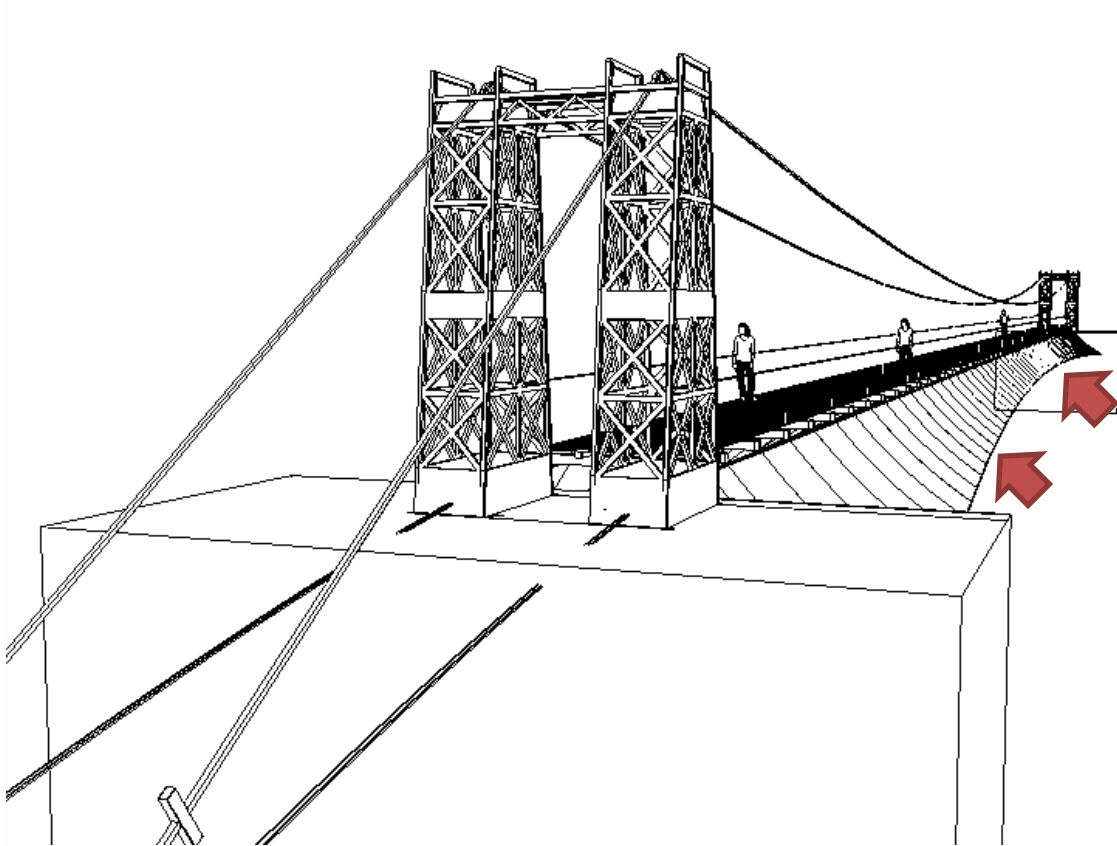
Figura 20. **Colocación de vigas primarias y secundarias**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

6. Instalación de cables laterales. La instalación de estos elementos es similar a la instalación de los cables principales, con la única diferencia es que el cable termina en las conexiones de las vigas principales, de manera que proteja acciones o cargas producidas por la presión del viento en dicha estructura y reducir el ladeo cuando se presente un sismo.

Figura 21. **Instalación de cables laterales**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

2.22. Presupuesto del puente colgante

Cálculo anticipado del coste del puente peatonal colgante de tipo hamaca, detallando la cantidad de dinero que se calcula necesaria o que se destina para ejecutar el proyecto.

Tabla XV. Presupuesto desglosado del proyecto

CONSTRUCCIÓN PUENTE COLGANTE, SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO							
CLAVE DE ORDEN	RENGLON DEL PROYECTO	DESCRIPCION MATERIAL Y/O MANO DE OBRA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO DE MATERIALES	COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA	TOTAL DEL RENGLO
100	MATERIAL	NIVELACION DEL TERRENO Y REPLANTEO TOPOGRAFICO	810.00	M²			
		PALAS	2.00	UNIDAD	Q45.00		Q90.00
		PIOCHA	2.00	UNIDAD	Q45.00		Q90.00
		CARRETA	2.00	UNIDAD	Q210.00		Q420.00
		MARTILLO	2.00	UNIDAD	Q40.00		Q80.00
		CINCEL	2.00	UNIDAD	Q50.00		Q100.00
		ALMADANA	2.00	UNIDAD	Q100.00		Q200.00
		MADERA	15.00	PT	Q8.00		Q120.00
		CLAVO	40.00	LB	Q10.00		Q400.00
		HILO DE NYLON	1.00	UNIDAD	Q5.20		Q5.20
		NIV EL (REGLA)	1.00	UNIDAD	Q28.30		Q28.30
		PLOMADA	2.00	UNIDAD	Q30.00		Q60.00
		ESTACA PARA PUENTE	80.00	UNIDAD	Q22.10		Q1,768.00
		EXTRACCION DE RIPIO (FLETE)	5.00	MP	Q45.00		Q225.00
					SUBTOTAL	Q3,586.50	
	MANO DE OBRA						
		CERRAMIENTO PROVISIONAL	80.00	ML		Q5.00	Q400.00
		DEMOLICION	50.00	M³		Q20.00	Q1,000.00
		TRAZO Y ESTAQUEO	100.00	MP		Q5.00	Q500.00
		LIMPIEZA	100.00	MP		Q3.00	Q300.00
					SUBTOTAL	Q2,200.00	
TOTAL							Q5,786.50

	REGLON DEL PROYECTO	DESCRIPCION MATERIAL Y/O MANO DE OBRA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO DE MATERIALES	COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA	TOTAL DEL REGLON	
200	MATERIAL	BASES DE CONCRETO	25	M3				
		CEMENTO	250.00	SACO	Q74.50		Q18,625.00	
		ARENA	16.00	M3	Q180.00		Q2,880.00	
		PIEDRIN	23.00	M3	Q220.00		Q5,060.00	
		HIERRO 1/2"	12.00	qq	Q390.00		Q4,680.00	
		MADERA	190.00	pt	Q12.00		Q2,280.00	
		RIEL PARA TENSIONAR	2.00	UNIDAD	Q550.00		Q1,100.00	
	MANO DE OBRA						SUBTOTAL	Q34,625.00
		EXCAVACION	25.00	M3	Q120.00			Q3,000.00
		FORMALETEO	24.00	ML	Q10.00			Q240.00
		FUNDICION DE BASES	25.00	M3	Q450.00			Q11,250.00
		QUITAR FORMALETA	25.00	MP	Q5.00			Q125.00
							SUBTOTAL	Q14,615.00
TOTAL							Q49,240.08	

Continuación de la tabla XV.

CLAVE DE ORDEN	REGLON DEL PROYECTO	DESCRIPCION MATERIAL Y/O MANO DE OBRA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO DE MATERIALES	COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA	TOTAL DEL REGLON
300	MATERIAL	ESTRUCTURA METALICA (TORRES)	4.00	UNIDAD			
		ANGULAR DE 4" X 4" DE 1/4"	40.00	UNIDAD	Q300.00		Q12,000.00
		PLATINAS DE 1/4" PARA ESTRUCTURA	10.00	UNIDAD	Q550.00		Q5,500.00
		PERNOS PARA ANCLAJE DE PLATINAS EN BASES	400.00	UNIDAD	Q35.00		Q14,000.00
		PLATINAS DE 1/4" PARA BASES	16.00	UNIDAD	Q550.00		Q8,800.00
		ANGULAR DE 4" X 4" DE 1/4" PARA BREZAS	32.00	UNIDAD	Q300.00		Q9,600.00
		ELECTRODO PUNTO CAFÉ	40.00	LB	Q16.00		Q640.00
		DISCOS PARA CORTAR METAL 8"	25.00	UNIDAD	Q35.00		Q875.00
	MANO DE OBRA	TORNILLO PARA ANCLAJE DE ESTRUCTURA	2,000.00	UNIDAD	Q8.00		Q16,000.00
						SUBTOTAL	Q67,415.00
		CORTE DE ANGULAR PARA ESTRUCTURA	4.00	UNIDAD	Q1,500.00		Q6,000.00
		CORTE DE PLANTINAS PARA ESTRUCTURA	4.00	UNIDAD	Q1,000.00		Q4,000.00
		CORTE DE PLANTINAS PARA BASE	4.00	UNIDAD	Q850.00		Q3,400.00
		PERFORACION DE ENCLAR PARA ANCLAJE	500.00	UNIDAD	Q8.00		Q4,000.00
		PERFORACION DE PLATINAS PARA BASE	400.00	UNIDAD	Q8.00		Q3,200.00
		COLOCACION DE TORNILLOS Y ARMADO DE ESTRUCTURA	2,000.00	UNIDAD	Q1.00		Q2,000.00
		COLOCACION DE PERNOS PARA BASE	400.00	UNIDAD	Q3.00		Q1,200.00
						SUBTOTAL	Q23,800.00
						TOTAL	Q91,215.00

CLAVE DE ORDEN	REGLON DEL PROYECTO	DESCRIPCION MATERIAL Y/O MANO DE OBRA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO DE MATERIALES	COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA	TOTAL DEL REGLON
400	MATERIAL	CABLEADO PARA PUENTE	12.00	ML			
		CABLE PRINCIPAL PARA PUENTE 1 1/2"	500.00	ML	Q145.00		Q72,500.00
		CABLE SECUNDARIO PARA TENSAR 1"	250.00	ML	Q100.00		Q25,000.00
		CABLE SECUNDARIO PARA COLGAR MADERA 1"	460.00	ML	Q100.00		Q46,000.00
		TUBO GALVANIZADO DE 1 1/2"	50.00	UNIDAD	Q125.00		Q6,250.00
		MACISO SOQUET DE 4" CON ORIFICIO DE 1 1/2"	12.00	UNIDAD	Q350.00		Q4,200.00
		GRAPAS PARA SUJECION DE CABLES	120.00	UNIDAD	Q35.00		Q4,200.00
		GUARDA CABOS PARA CABLES	120.00	UNIDAD	Q12.00		Q1,440.00
	MANO DE OBRA	PINTURA ANTI CORROSIVA	15.00	GALON	Q180.00		Q2,700.00
						SUBTOTAL	Q162,290.00
		COLOCACION DE CABLE DE 1 1/2"	500.00	ML		Q12.00	Q6,000.00
		COLOCACION DE CABLE DE 1"	710.00	ML		Q12.00	Q8,520.00
		COLOCACION DE TUBO GALVANIZADO	50.00	UNIDAD		Q5.00	Q250.00
		COLOCACION DE SOQUET DE 4"	12.00	UNIDAD		Q250.00	Q3,000.00
		COLOCACION DE SUJETORES PARA CABLE	120.00	UNIDAD		Q6.00	Q720.00
		COLOCACION DE CABOS PARA CABLE	120.00	UNIDAD		Q6.00	Q720.00
		PINTADO DE CABLE CON ANTICORROSIVO	1,210.00	ML		Q3.00	Q3,630.00
						SUBTOTAL	Q19,210.00
						TOTAL	Q181,500.00

Continuación de la tabla XV.

CLAVE DE ORDEN	REGLON DEL PROYECTO	DESCRIPCION MATERIAL Y/O MANO DE OBRA	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO DE MATERIALES	COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA	TOTAL DEL REGLON
500	MATERIAL	MADERA PARA PUENTE	8,080.00	PT			
		VIGAS DE MADERA PRINCIPALES	1,600.00	PT	Q21.00		Q33,600.00
		VIGAS SECUNDARIAS DE MADERA DE	2,430.00	PT	Q19.00		Q46,170.00
		TABLONES DE 1" X 1' X 10' PARA BASE	4,050.00	PT	Q16.00		Q64,800.00
		TORNILLO PARA ANCLAJE DE MADERA 12"	1,600.00	UNIDAD	Q12.00		Q19,200.00
		TUERCAS PARA TORNILLO	1,600.00	UNIDAD	Q4.00		Q6,400.00
	MANO DE OBRA					SUBTOTAL	Q170,170.00
		PERFORACION Y COLOCACION DE MADERA 5" X 10"	2,250.00	PT		Q3.50	Q7,875.00
		PERFORACION Y COLOCACION DE MADERA 3" X 6"	2,430.00	PT		Q3.50	Q8,505.00
		PERFORACION Y COLOCACION DE TABLON PARA BASE	1.00	GLOBAL		Q2,500.00	Q2,500.00
		COLOCACION DE TORNILLOS PARA FIJAR MADERA	1,600.00	UNIDAD		Q3.50	Q5,600.00
						SUBTOTAL	Q24,480.00
						TOTAL	Q194,650.00

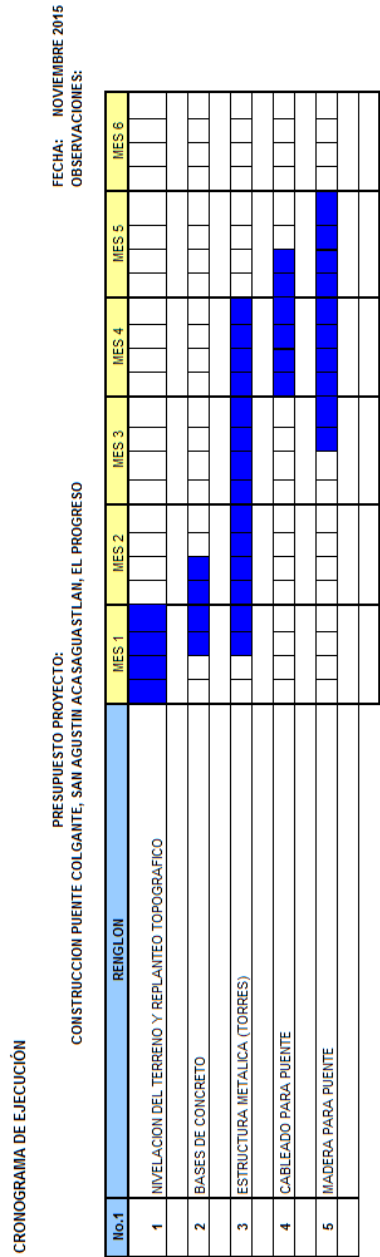
Q 438 086,50	Q 84 305,00
MATERIALES	MANO DE OBRA

TOTAL DE PROYECTO Q 522 391,50

Fuente: elaboración propia, empleando el programa Microsoft Excel.

2.23. Cronograma de ejecución

Representación gráfica de la ejecución de la obra del proyecto en función del tiempo.



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Microsoft Excel.

2.24. Requerimientos de un estudio de impacto ambiental

El estudio de impacto ambiental es un instrumento técnico legal de carácter predictivo que sirve para identificar, comprender, conocer y gestionar los impactos ambientales del proyecto a realizar.

La normativa legal ambiental vigente en Guatemala (general) establece que para cada proyecto que se desee implementar se deberá elaborar un estudio de impacto ambiental, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68 de 1986).

Los requisitos que pide la Dirección de Gestión Ambiental y Recursos Naturales son:

Tabla XVI. **Requisitos del instrumento ambiental**

Núm.	Requisitos	Sí	No	No aplica
1	1.1. Formulario de evaluación ambiental inicial o diagnóstico ambiental de bajo impacto con la información correspondiente completa.			
2	Plano			
	2.1. Plano de localización a escala visible.			
	2.2. Plano de ubicación.			
	2.3. Plano de distribución arquitectónica.			
	2.4. Plano de instalaciones hidráulicas (agua potable).			
	2.5. Plano de instalaciones sanitarias (agua residual y pluvial).			

Continuación de la tabla XVI.

	2.6. Plano de detalles del sistema de tratamiento de las aguas residuales.			
	2.7. Plano de secciones.			
	2.8. Plano de curvas de nivel originales y modificadas.			
3	Fotocopia completa del DPI del proponente o su representante legal, o copia del pasaporte si fuera extranjero.			
4	Acta notarial de declaración jurada del proponente.			
5	Personería			
	5.1. Fotocopia del nombramiento del representante legal con su registro respectivo.			
	5.2. Acta de toma de posesión.			
	5.3. Acuerdo emitido por el Tribunal Supremo Electoral.			
	5.4. Fotocopia del mandato con su inscripción del registro respectivo.			
6	Fotocopia del documento que acredita el derecho sobre el predio a favor del proponente.			
7	Patente de comercio de la empresa y sociedad.			
8	Fotocopia simple del Registro Tributario Unificado (RTU) del proponente.			
9	Dos copias completas del instrumento ambiental en CD en formato PDF.			

Continuación de la tabla XVI.

10	Instrumento ambiental debidamente foliado de adelante hacia atrás y únicamente en el anverso de las hojas, en la esquina superior derecha, con números arábigos enteros (no alfanuméricos), de forma consecutiva, sin tachones, enmendaduras, sin corrector o cualquier otro medio que cubra o altere la numeración.			
----	--	--	--	--

Fuente: elaboración propia, empleando términos del MARN.

- Requisitos de presentación:
 - Presentar original del documento en forma física y una copia para sellar de recibido.
 - Toda la documentación presentada relacionada al instrumentario ambiental deberá figurar en fotocopia autenticada de forma completa y legible.
 - Planos debidamente firmados, sellados y timbrados por el profesional correspondiente.

Tabla XVII. **Datos generales para instrumentos ambientales**

Número de expediente	
Nombre del proyecto	
Folios al momento del ingreso	
Tipo de proyecto	
Tipo de actividad que va a desarrollarse en el proyecto terminado	
Dirección exacta del proyecto	

Continuación de la tabla XVII.

Nombre de la empresa o razón social	
Nombre del representante legal o persona individual	
Dirección para recibir notificaciones	
Número telefónico	
Número de NIT de la empresa o representante legal	
Monto estimado de inversión del proyecto	
Número de empleos que va a generar en la fase de operación y en la fase de construcción	
Localización de área protegida	
Ubicación del proyecto en coordenadas UTM	
Fuente de abastecimiento de agua	
Folios de los costos de medidas de mitigación	
Numero de DPI del representante legal	

Fuente: elaboración propia, empleando términos del MARN.

Cuadro de impactos ambientales

En el siguiente cuadro, identificar el o los impactos ambientales que pueden ser generados como resultado de la construcción y operación del proyecto, obra, industria o actividad. Marcar con una X o indicar que no aplica, no es suficiente, por lo que se requiere que se describa y detalle la información, indicando si corresponde o no a sus actividades (usar hojas adicionales si fuera necesario).

Tabla XVIII. **Impactos ambientales**

Núm.	Aspecto Ambiental	impacto ambiental	Tipo de impacto ambiental (de acuerdo con la descripción del cuadro anterior)	Indicar los lugares de donde se espera se generen los impactos ambientales	Manejo ambiental Indicar qué se hará para evitar el impacto al ambiente, trabajadores y/o vecindario.
1	Aire	Gases o partículas (polvo, vapores, humo, hollín, monóxido de carbono, óxidos de azufre, entre otros.)			
		Ruido			
		Vibraciones			
		Olores			
2	Agua	Abastecimiento de agua			
		Aguas residuales Ordinarias (aguas residuales generadas por las actividades domésticas)	Cantidad:		
		Aguas residuales Especiales (aguas residuales generadas por servicios públicos municipales, actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias)	Cantidad:	Descarga:	

Continuación de la tabla XVIII

		Mezcla de las aguas residuales anteriores	Cantidad:	Descarga:	
		Agua de lluvia	Captación	Descarga:	
3	Suelo	Desechos sólidos (basura común)	Cantidad:		
		Desechos Peligrosos (con una o más de las siguientes características: corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y bioinfecciosos)	Cantidad:	Disposición	
		Descarga de aguas residuales (si van directo al suelo)			
		Modificación del relieve o topografía del área			
4	Biodiversidad	Flora (árboles, plantas)			
		Fauna (animales)			
		Ecosistema			
5	Visual	Modificación del paisaje			
6	Social	Cambio o modificaciones sociales, económicas y culturales, incluyendo monumentos arqueológicos			
7	Otros				

Continuación de la tabla XVII

NOTA: Complementaria a la información proporcionada se solicitan otros datos importantes en los numerales siguientes.

V. DEMANDA Y CONSUMO DE ENERGIA	
CONSUMO	
V.1 Consumo de energía por unidad de tiempo (kW/hr o kW/mes)	_____
V.2 Forma de suministro de energía	
a) Sistema público	_____
b) Sistema privado	_____
c) generación propia	_____
V.3 Dentro de los sistemas eléctricos de la empresa se utilizan transformadores, condensadores, capacitores o inyectores eléctricos?	SI _____ NO _____
V.4 Qué medidas propone para disminuir el consumo de energía o promover el ahorro de energía?	
VI. EFECTOS Y RIESGOS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD	
VI.1 Efectos en la salud humana del vecindario:	
a) <input type="checkbox"/> la actividad no representa riesgo a la salud de pobladores cercanos al sitio	
b) <input type="checkbox"/> la actividad provoca un grado leve de molestia y riesgo a la salud de pobladores	
c) <input type="checkbox"/> la actividad provoca grandes molestias y gran riesgo a la salud de pobladores	
Del inciso marcado explique las razones de su respuesta, identificar que o cuales serían las actividades riesgosas:	
VI.2 En el área donde se ubica la actividad, a qué tipo de riesgo puede estar expuesto?	
a) inundación ()	b) explosión ()
d) derrame de combustible ()	e) fuga de combustible ()
	c) deslizamientos ()
	d) Incendio ()
	e) Otro ()
Detalle la información explicando el por qué?	

VI.3 riesgos ocupacionales:	
<input type="checkbox"/> Existe alguna actividad que represente riesgo para la salud de los trabajadores	
<input type="checkbox"/> La actividad provoca un grado leve de molestia y riesgo a la salud de los trabajadores	
<input type="checkbox"/> La actividad provoca grandes molestias y gran riesgo a la salud de los trabajadores	
<input type="checkbox"/> No existen riesgos para los trabajadores	
Ampliar información:	

Continuación de la tabla XVIII

<p>VI.4 Equipo de protección personal</p> <p>VI.4.1 Se provee de algún equipo de protección para los trabajadores? SI () NO ()</p> <p>VI.4.2 Detallar que clase de equipo de protección se proporciona:</p> <p>VI.4.3 ¿Qué medidas propone para evitar las molestias o daños a la salud de la población y/o trabajadores?</p>

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Documentos que deben adjuntar al formato:

- Plano de localización o mapa escala 1:5000.
- Plano de ubicación.
- Plano de distribución.
- Plano de los sistemas hidráulico sanitarios (agua potable, aguas pluviales, drenajes, planta de tratamiento).

Presentar original del documento en forma física y una copia completa del mismo en medio magnético (cd) (si el proyecto se encuentra fuera del departamento de Guatemala deberán presentarse dos copias magnéticas.)

1. El expediente se imprimirá en ambos lados de las hojas.
2. Presentar una copia para sellar de recibido.
3. El documento deberá foliarse de adelante hacia atrás (dicha foliación irá solamente en las parte frontal de las hojas, esquina superior derecha).
4. Fotocopia de DPI.
5. Declaración jurada.

6. Fotocopia del nombramiento del representante legal.

Nota: el tamaño de planos deberá ser:

Carta
Oficio
Doble carta

Lo que debe contener la portada del impacto ambiental

Figura 22. **Portada del estudio de impacto ambiental**

<p>PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL</p> <p>“Título del proyecto”</p> <p>Imagen [fotografía del lugar]</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>Nombre del ingeniero</p> <p>Licencia ambiental</p> <p>Núm. de colegiado</p> <p>Mes y año</p>

Fuente: MARN.

Tabla XIX. **Ejemplo ilustrativo de índice**

Núm.	CONTENIDO	PÁGINA
1.	Datos Generales:	13
1.1.	Representante legal del proyecto	13
1.2.	Número de identificación tributaria (NIT)	13
1.3.	Actividad principal de la persona jurídica	13
1.4.	Dirección para recibir notificaciones	13
1.5.	Identificación comercial	13
1.6.	Dirección del proyecto	13
1.7.	Amparo legal	13
2.	INTRODUCCIÓN	14
2.1.	Objetivos y justificación del proyecto	16
3.	Información general	20
3.1.	Personal que participó en la elaboración del Plan de Gestión Ambiental	20
4.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	20
4.1.	Ubicación geográfica y área de influencia	20
4.2.	Descripción técnica del proyecto	24
4.3.	Infraestructura a desarrollar	27
4.4.	Maquinaria, equipo y materiales a utilizar	34
4.5.	Mano de obra requerida	34
4.6.	Disposición de desechos sólidos en las etapas de construcción, operación y abandono.	35
5.	IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	37
5.1.	Impacto al sistema atmosférico y al ambiente sonoro	41
5.2.	Impacto sobre el sistema suelo	42
5.3.	Impactos ambientales al ecosistema	43
5.4.	Impactos ambientales al medio social	44
5.5.	Impactos al componente estético	45
5.6.	Impactos al medio socioeconómico	47
5.7.	Amenazas naturales	47
6.	EVALUACIÓN Y SÍNTESIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	50
6.1.	Identificación de normas y legislación a cumplir	51
7.	MEDIDAS DE MITIGACIÓN	58
7.1.	Metas para cumplir las medidas de mitigación	58
8.	PLANES DE MANEJO ESPECÍFICOS	60
8.1.	Plan de Manejo de Desechos Sólidos Ordinarios	60
8.2.	Planes de Emergencia y Contingencia	60

Continuación de la tabla XIX

8.3.	Plan de Monitoreo y Evaluación Ambiental	65
8.4.	Plan de Monitoreo Ambiental	68
8.5.	Plan de Recuperación Ambiental	69
8.6.	Plan de Abandono o Cierre del Proyecto	70
8.7.	Política Ambiental del Proyecto	71
9.	NOMBRE DE CONSULTORES	72
10.	ANEXOS	73
10.1.	Cronograma de ejecución física del proyecto	74
10.2.	Presupuesto del proyecto	75
10.3.	Certificación de constancia de área municipal del lugar donde se construirá el proyecto	76
10.4.	Declaración jurada del consultor ambiental	78
10.5.	Mapa de macrolocalización del proyecto	79
10.6.	Mapa de microlocalización del Proyecto	80
10.7.	Planos constructivos del proyecto	81

Seguido de la tabla de datos generales de la empresa

1.1.	Nombre del representante legal del proyecto	José Manuel Marroquín Hichos
1.2.	Número de identificación tributaria	NIT: 670255-4
1.3.	Actividad principal de la persona jurídica	Alcalde Municipal
1.4.	Dirección para recibir notificaciones Números de teléfono	Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, Barrio El Centro, El Progreso. 79360673
1.5.	Identificación del proyecto	"Título del Proyecto"
1.6.	Dirección del proyecto	
1.7.	Amparo legal	Acta de toma de posesión 001-2015

Fuente: elaboración propia, empleando términos del MARN.

CONCLUSIONES

1. Como en toda obra de ingeniería, en el diseño de los puentes colgantes de hamaca se deberá tener cuidado en el análisis estructural, ya que por la forma en que trabajan los cables sobre una polea, estos trabajan a tensión, y transmiten a las torres cargas principales de compresión, las cuales deberán tomarse en cuenta en el diseño del mismo. Dicha estructura por ser demasiado larga estará sujeta por 2 tensores debajo del caminamiento del puente, uno a cada lado con el fin de evitar el efecto de onda cuando la estructura esté en uso; también cuando sea provocado por las cargas de sismo o viento.
2. El aforo de la circulación de personas sobre el lugar daría un dato de aproximadamente 10 000 usuarios; ya que dicho puente ahorraría entre 20 a 25 min en trasladarse de un barrio a otro, debido al traslado de personas entre las dos comunidades.
3. La construcción de un puente colgante de hamaca, referente al costo de mano de obra y materiales, es mucho más económica que la construcción de otros tipos de puentes. Los puentes rígidos de concreto cuestan Q 365 000,00 por metro lineal; y el puente de hamaca tendrá un costo de Q 4 353,26 por metro lineal. Este es uno de los factores más importantes que se consideran en la toma de decisión para la construcción de un puente colgante en comparación con otros puentes; como por ejemplo los puentes rígidos de concreto de una o varias luces.

4. El puente facilitará el intercambio comercial y cultural de esta región; será usado directamente para transporte de mercadería, traslado de estudiantes para los establecimientos educativos y demás comercios como lo son: carnicerías, salones de belleza, barberías, abarroterías, tiendas de conveniencia, entre otros. No tiene ningún impacto en el ambiente; debido a que sus bases ya están construidas por lo tanto, no se realizará ninguna excavación en el sitio.

RECOMENDACIONES

1. Garantizar que la supervisión técnica durante la ejecución de los proyectos que sea desarrollada por un profesional de ingeniería civil, para asegurar que este proyecto sea construido de acuerdo con las especificaciones ACI, Dirección General de Caminos, Agies, ASTM, AISC.
2. Seguir las especificaciones técnicas anteriormente descritas en este documento, las descritas en los planos de construcción y cumplir estrictamente con cada detalle.
3. Cualquier cambio que se quiera realizar en la ejecución del proyecto, se deberá comunicar al supervisor encargado o al ingeniero asesor.
4. Proporcionar el mantenimiento a las estructuras, periódicamente, recubriendo con pintura anticorrosiva las torres, colocar abrazaderas en los cables cuando alguno de ellos esté por deshilarse, engrasar el contacto del cable con el gancho dentro de la cámara de anclaje para evitar el sarro y la corrosión, aplicar carbolíneo en el sistema de piso cada fin de verano para proteger e impermeabilizar la madera y evitar la pudrición, y todo su mantenimiento preventivo debe ser realizado con personal calificado.
5. Para la Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, se debe atender cualquier reporte sobre daños a la estructura del puente, para impedir su deterioro y asegurar el servicio a la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOLAÑOS ESTRADA, Luis Fernando. *Diseño de un puente peatonal para la aldea Tulumaje, municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 143 p.
2. Comité ACI 318. *Reglamento de las construcciones de concreto reforzado (ACI 318-08) y comentarios*. México: Limusa, 1995. 586 p.
3. DUDLEY Charles Benjamín. *ASTM. 16 de mayo de 1898. American Society For Testing And Materials*. [en línea].
<D:/ Archivos Civil/ Materiales de Construcción/ ASTM.>. [Consulta: 13 de julio de 2015].
4. ESTRADA RODAS, José Humberto. *Análisis descriptivo de puentes colgantes peatonales, en la costa sur de Guatemala*. Trabajo de graduación de Arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2006. 125 p.
5. JORDÁN VÁSQUEZ, Sergio Eduardo. *Diseño de un puente peatonal colgante, de 220 metros de largo y 2 metros de ancho, en la aldea El Manguito, municipio de Morales, departamento de Izabal*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 95 p.

6. MANUAL 1: *Diseño y construcción de puentes peatonales suspendidos para ingenieros*. Versión de Trabajo en Proceso de Revisión por las Instancias Responsables, 2011. 95 p.
7. PÉREZ GONZÁLES, Victor Manuel. *Proposición de soluciones alternas para determinar analíticamente los parámetros de la curva de descarga en corrientes superficiales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de Mariano Gálvez de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 130 p.
8. QUIJADA BARRERA, José Manuel. *Diseño de puente colgante aldea Pueblo Nuevo, San Jacinto, Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 145 p.

APÉNDICES

Tabla I. **Topografía del terreno**

MEDIDAS PUENTE ORELLANA EL RANCHO			
EST.	PO.	AZIMUT	DISTANCIA
0	N	00°00'00"	
0	1	193°36'00"	19,93
0	2	193°03'20"	21,91
0	R-1	207°01'20"	21,92
0	R-2	179°42'40"	21.94
0	R-3	186°26'00"	17,93
0	R-4	199°24'40"	17.93
0	3	19°58'00"	10
0	R-5	4°52'20"	10
0	R-6	36°20'20"	10
0	4	20°07'20"	31,89
0	5	195°32'20"	141,98
5	N	00°00'00"	
5	R-1	292°22'40"	5,96
5	R-2	101°05'40"	5,94
5	6	197°20'20"	3,99
5	R-3	173°12'00"	3,98
5	R-4	221°43'20"	3,98
5	7	196°50'40"	52
5	8	196°50'40"	64
5	9	196°34'40"	84
5	10	196°16'00"	106
5	11	16°59'00"	13,58
11	12	105°06'20"	100
11	13	285°06'20"	200

Continuación de la tabla I

NIVELES ORIGINALES TRAMO 1					
EST.	MAS	HI	MENOS	PV.	ELEVACIÓN
BM.	2,11	102,11			100
0,000.00			2,11		100
0,05.00			1,9		100,21
0,10.00			1,7		100,41
0,15.00			1,55		100,56
0,20.00			1,33		100,78
0,25.00			1,15		100,96
0,27.77			1,05		101,06

NIVELES ORIGINALES TRAMO 2 SOBRE CALLE					
EST.	MAS	HI	MENOS	PV.	ELEVACIÓN
BM.	1,45	100,71			99,26
0,000.00			0,78		99,93
0,020.00			0,9		99,81
0,040.00			1,41		99,3
0,060.00			2,27		98,44
0,080.00			2,58		98,13
0,100.00			2,75		97,96

NIVELES ORIGINALES TRAMO 3 ORILLA RÍO					
EST.	MAS	HI	MENOS	PV.	ELEVACIÓN
BM.	0,83	95,55			94,72
0,00.00E-11			1,46		94,09
0,020.00			0,71		94,84
0,040.00			0,6		94,95
0,060.00			0,85		94,7
0,080.00			0,92		94,63
0,100.00			0,85		94,7

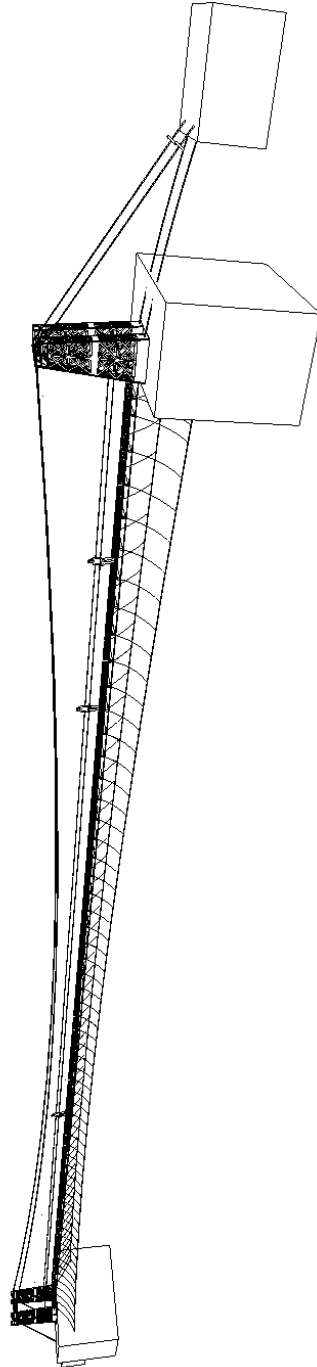
Continuación de la tabla I

NIVELES ORIGINALES TRAMO 4 ORILLA DE RÍO					
		95,55			
0,020.00			0,72		94,83
0,040.00			1,12		94,43
PV	1,43	95,86		1,12	94,43
0,060.00			1,45		94,41
0,080.00			1,28		94,58
0,100.00			1,38		94,48
0,120.00			1,42		94,44
0,140.00			1,3		94,56
0,160.00			1,43		94,43
PV.	1,64	96,07		1,43	94,43
0,180.00			1,62		94,45
0,200.00			1,48		94,98

Fuente: elaboración propia, empleando el programa Microsoft Excel.

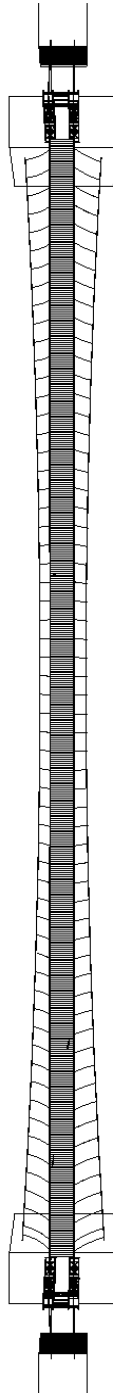
ANEXOS

Anexo 1. Isométrico del puente



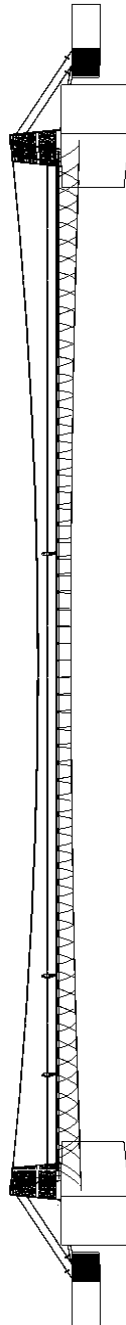
Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 2. Planta del puente



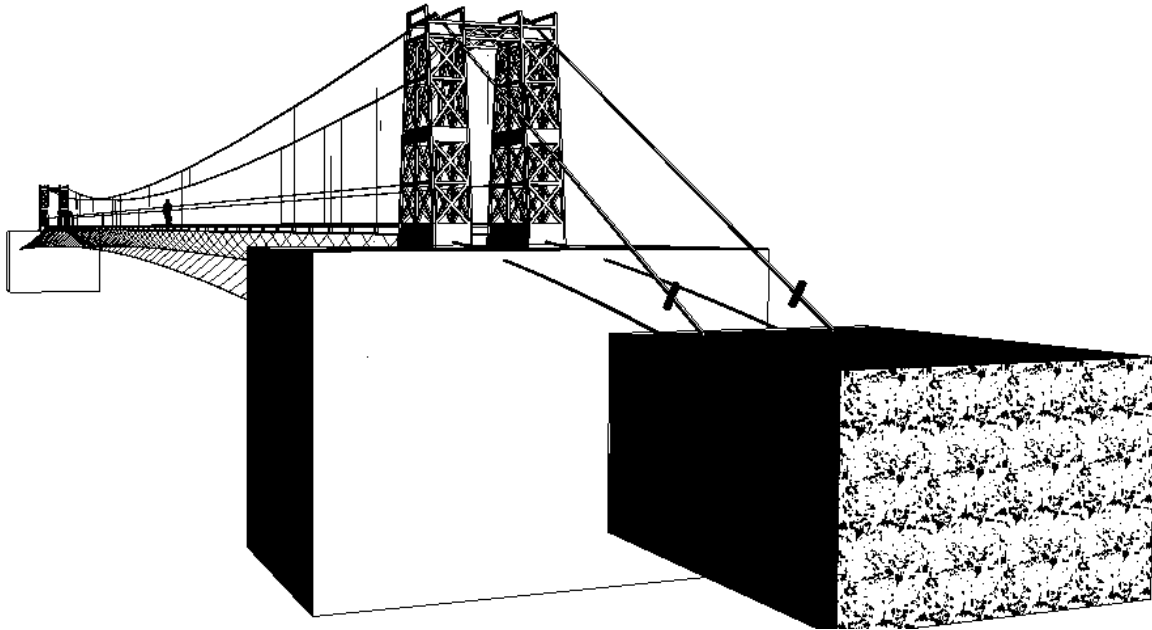
Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 3. Elevación del puente



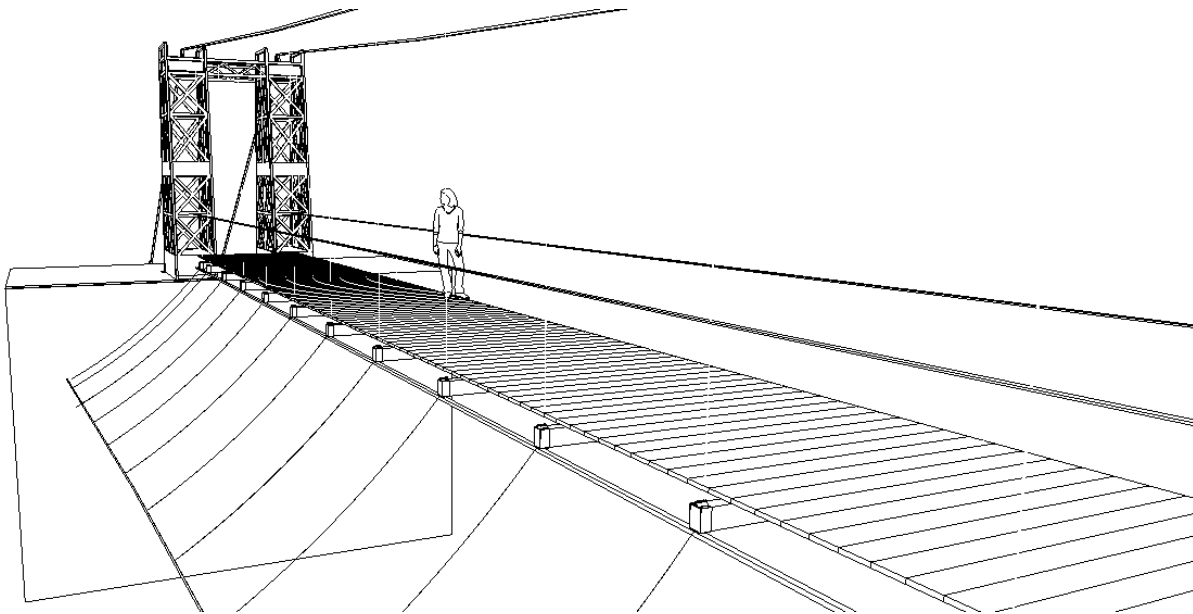
Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 4. Vista lateral del puente



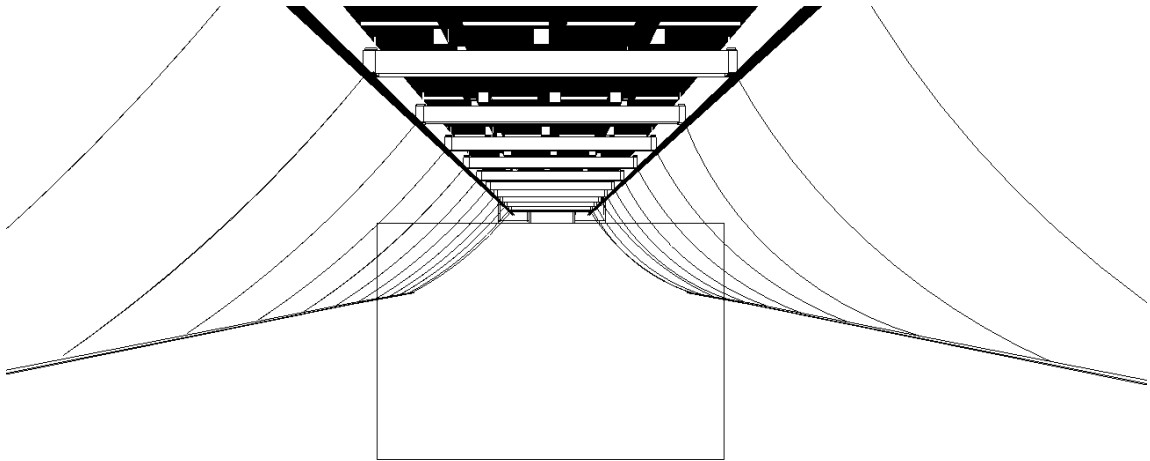
Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 5. Interior del puente



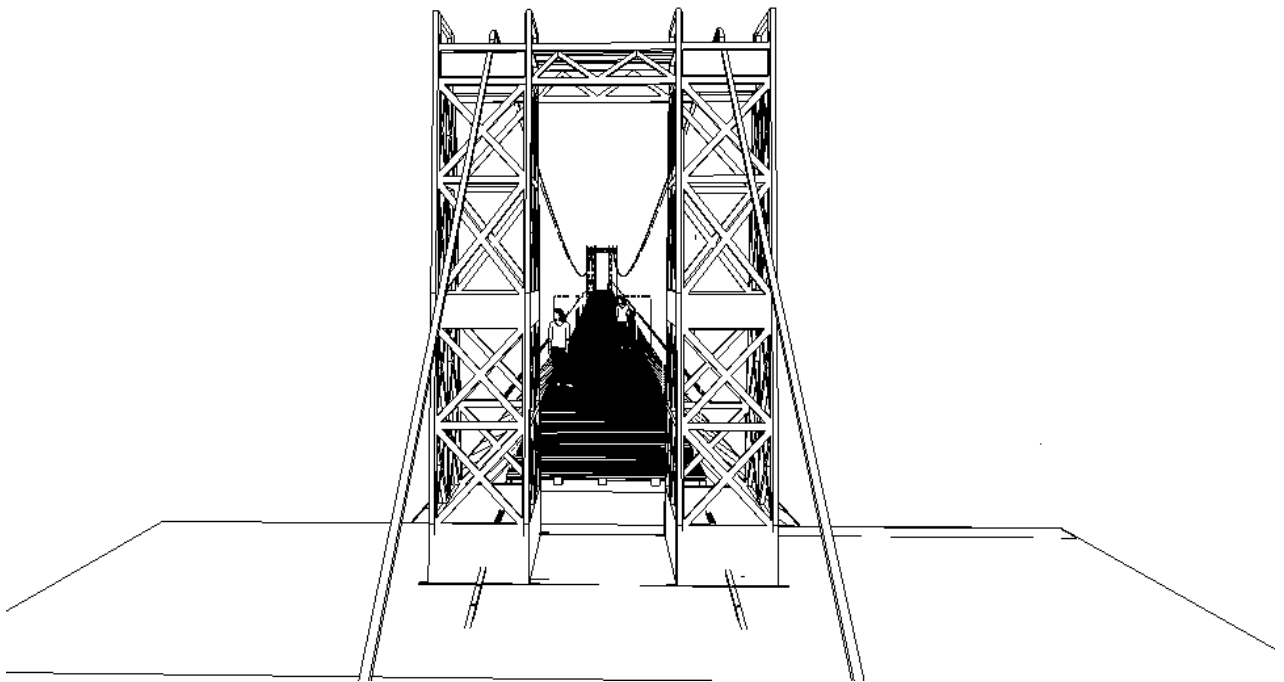
Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 6. Caminamiento del puente



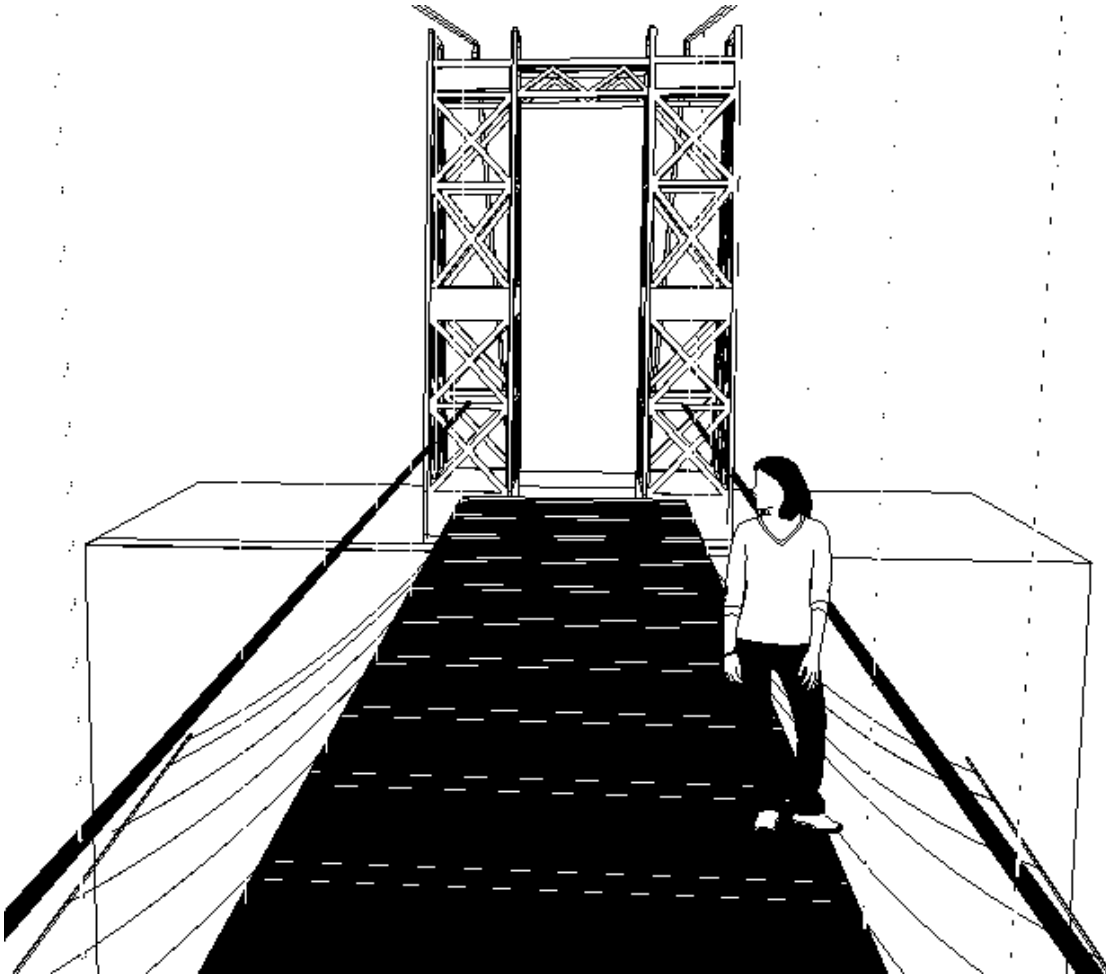
Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 7. Vista externa de la torre del puente



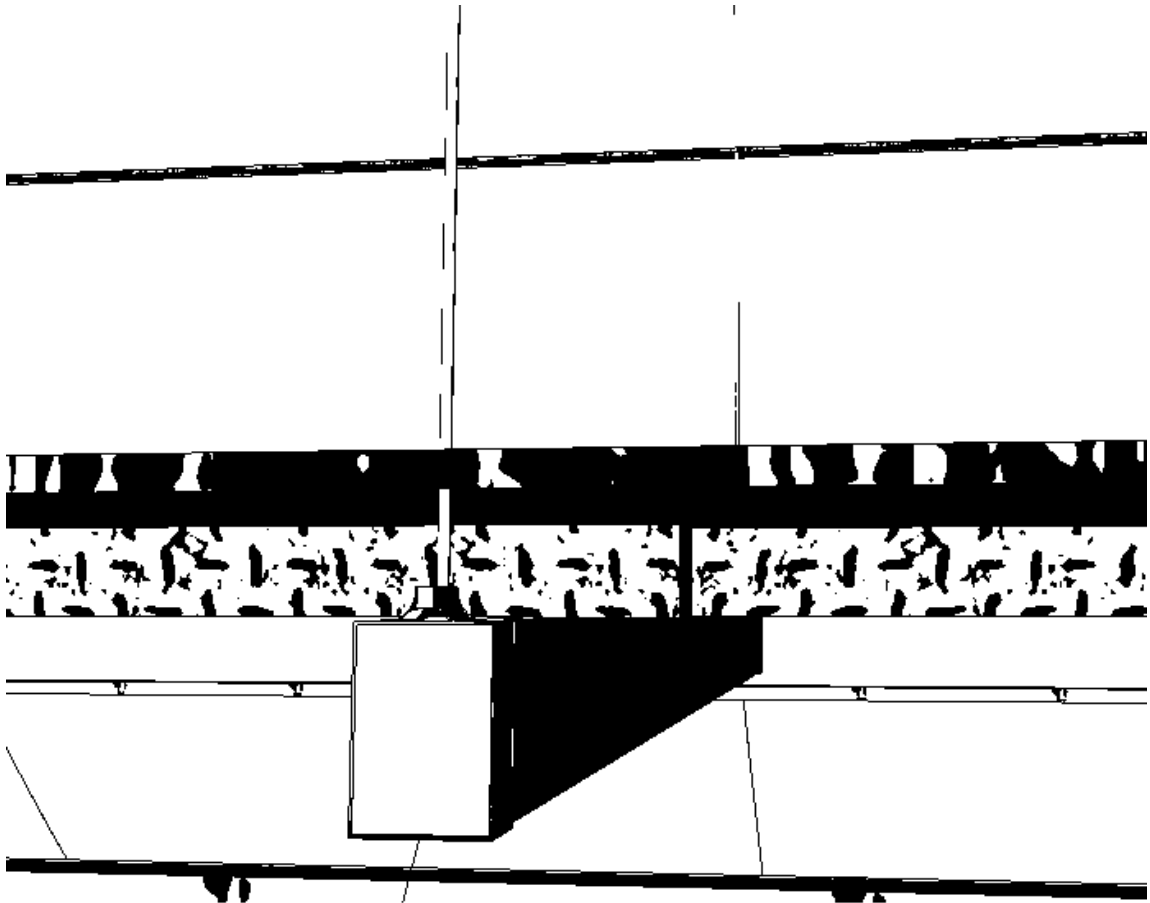
Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 8. Vista interna de la torre del puente

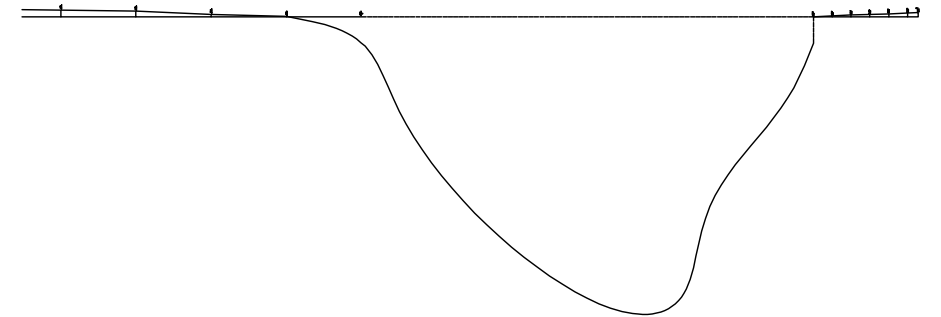
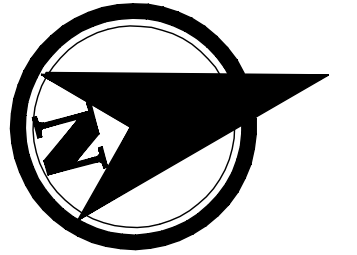
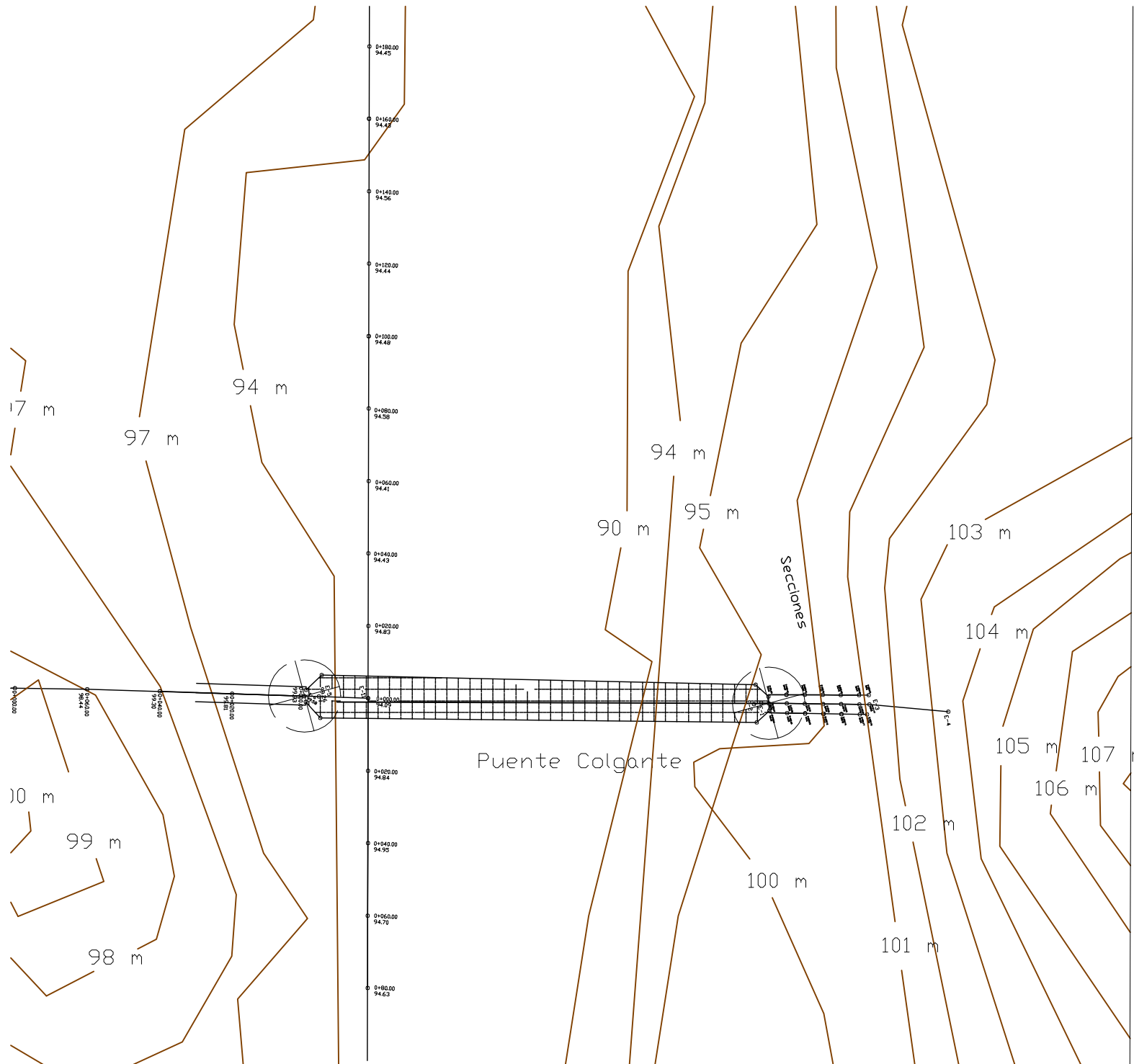


Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.

Anexo 9. Anclaje de péndola del puente



Fuente: elaboración propia, empleando el programa SketchUp.



MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTIN AC.
DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO
DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACION 2015

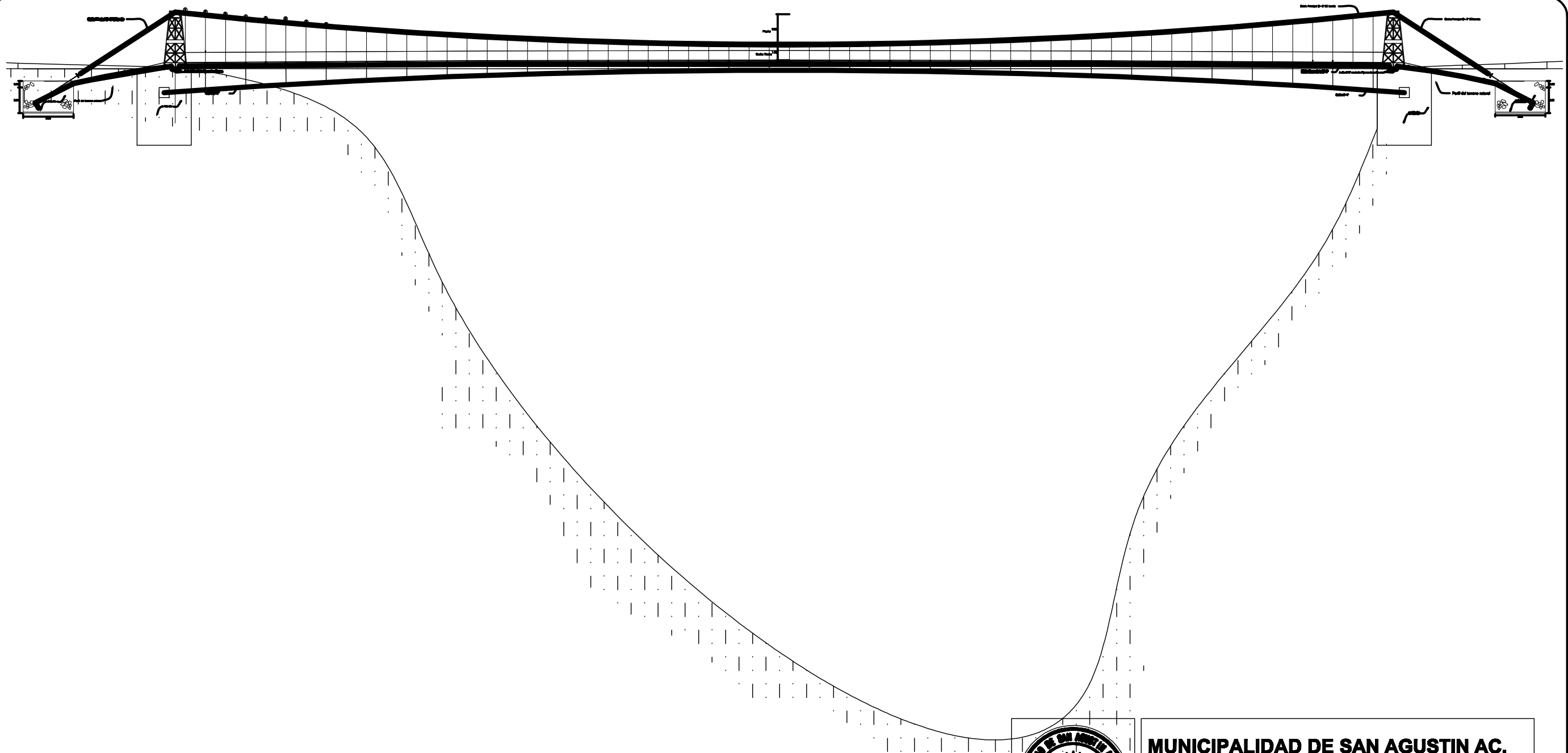
CONTENIDO: **PLANTA DE CURVAS DE NIVEL** HOJA: **1 / 1**

DISEÑO:
FERNANDO MARTINEZ
CALCULO:
FERNANDO MARTINEZ
DIBUJO:
FERNANDO MARTINEZ
ESCALA:
INDICADA
FECHA:
OCTUBRE 2015

PROYECTO:
PUENTE COLGANTE
UBIC. ☐
ARQ. ☐
ESTRUC. ☐
INSTAL. ☐

APRUEBA:

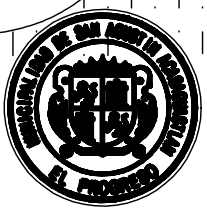
(F.) _____ Vo.Bo. ALCALDE
(F.) _____ PROFESIONAL COLEGIADO



PERFIL LOGITUDINAL DEL PUENTE COLGANTE TIPO HAMACA

ESCALA: 1/100

PERFIL NATURAL DEL TERRENO
ESCALA VERTICAL: 1/05



MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTIN AC.
DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO
DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACION 2015

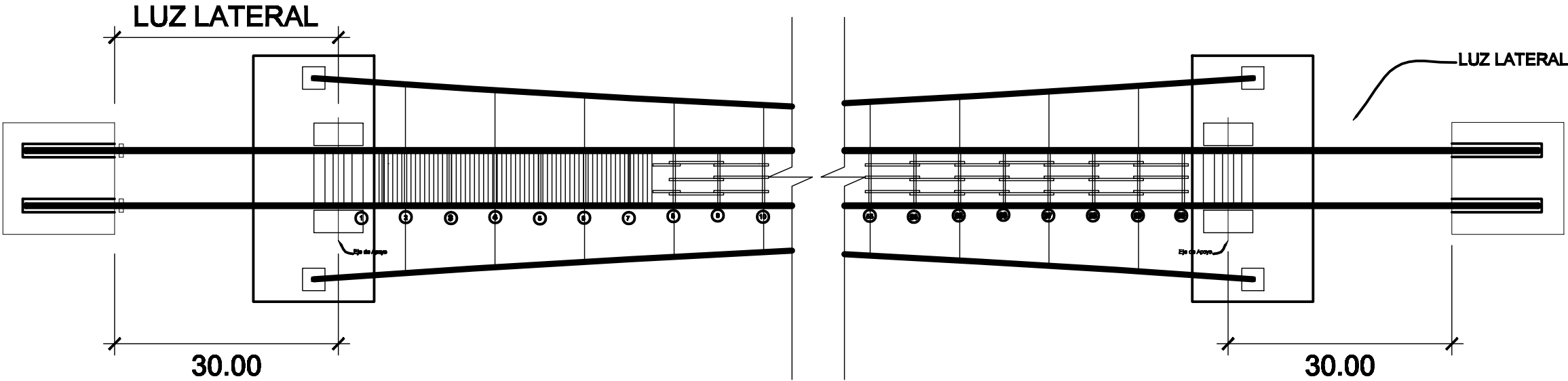
CONTENIDO:
PLANTA DE CURVAS DE NIVEL

HOJA:
1 / 1

DISEÑO:
FERNANDO MARTINEZ
CALCULO:
FERNANDO MARTINEZ
DIBUJO:
FERNANDO MARTINEZ
ESCALA:
INDICADA
FECHA:
OCTUBRE 2018

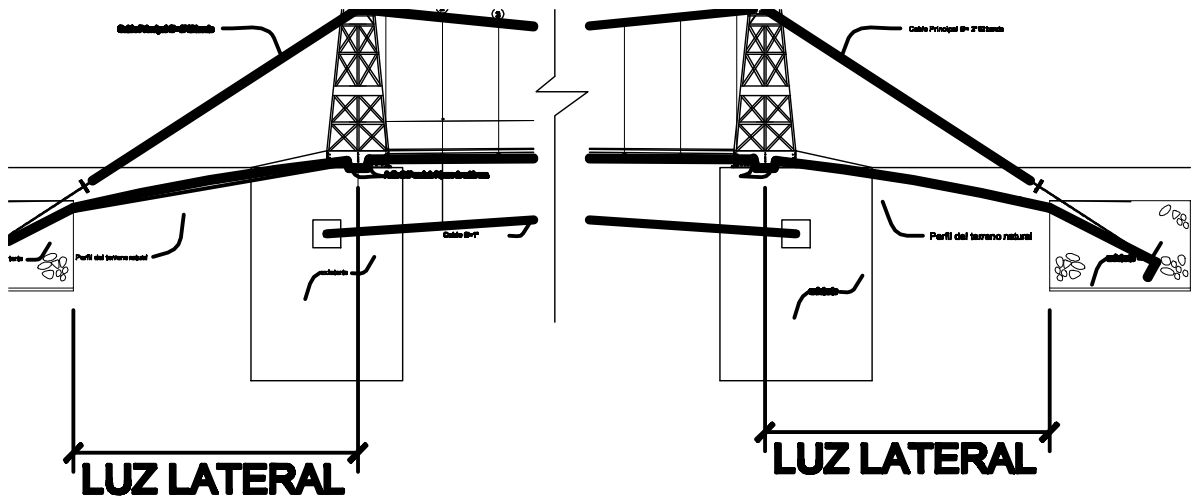
PROYECTO:
PUENTE COLGANTE
UBIC.
ARQ.
ESTRUC.
INSTAL.

APRUEBA:
< f > Vo.Bo. ALCALDE
< f > PROFESIONAL COLEGIADO



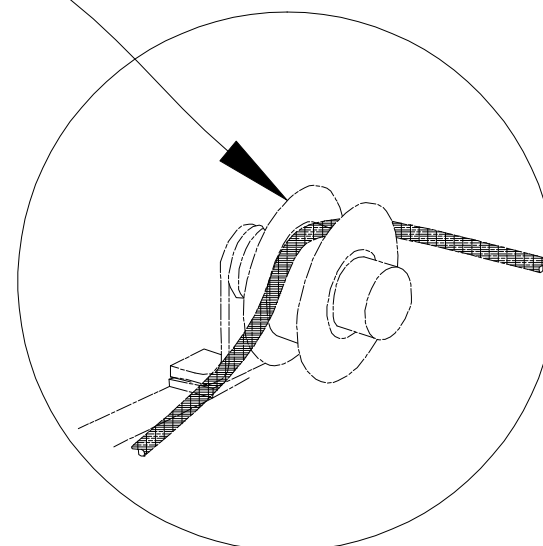
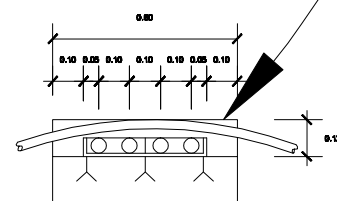
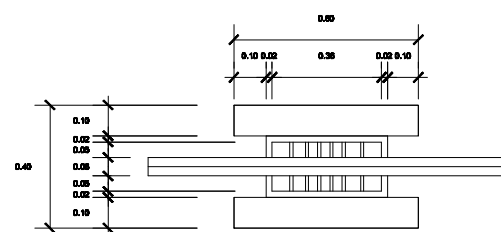
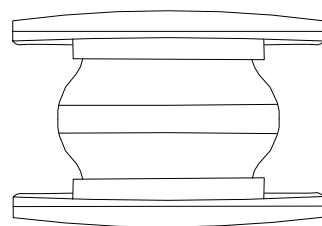
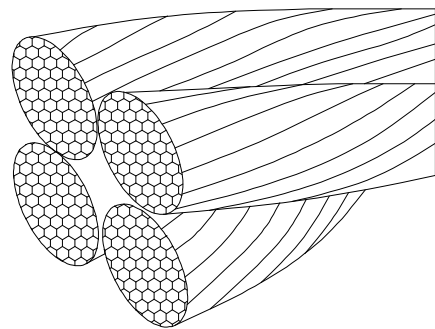
DETALLE DE LUCES LATERALES

SIN ESCALA

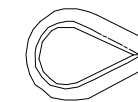


ELEVACIÓN
DETALLE DE LUCES LATERALES
SIN ESCALA

	MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTIN AC. DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACION 2015	
	CONTENIDO: DETALLE DE LUCES LATERALES	HOJA: 1 / 2
DISEÑO: FERNANDO MARTINEZ	PROYECTO: PUENTE COLGANTE	UBIC. DET. ESTRUC. INSTAL.
CALCULO: FERNANDO MARTINEZ	APRUEBA: C. F. J. _____ Vc.Bo. ALCALDE	C. F. J. _____ PROFESIONAL COLEGIADO
DIBUJO: FERNANDO MARTINEZ		
ESCALA: INDICADA		
FECHA: OCTUBRE 2018		



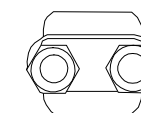
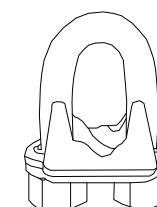
PERFIL



CORTE

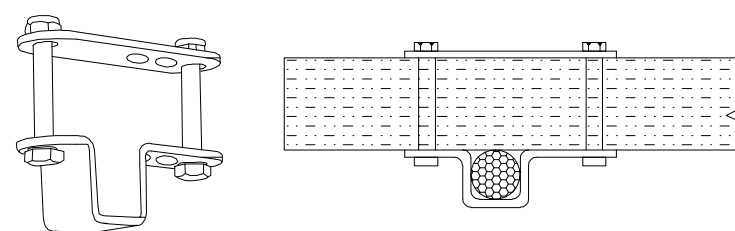
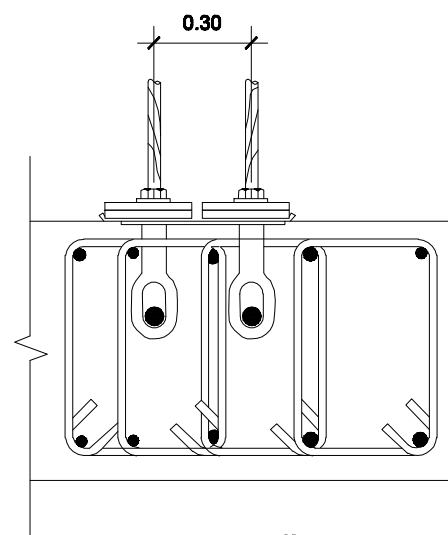
PLANTA

GRAPAS PARA SUJECCIÓN DE CABLE



PERFIL

PLANTA



MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTIN AC.
DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO
DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACION 2015

CONTENIDO:

PLANTA DE CURVAS DE NIVEL

	HOJA:
--	-------

2 / 2

DISEÑO:
FERNANDO
MARTÍNEZ

CALCULO:
FERNANDO MARTINEZ

DIBUJO:
**FERNANDO
MARTINEZ**

ESCALA:
INDICADA

FECHA:
OCTUBRE
2015

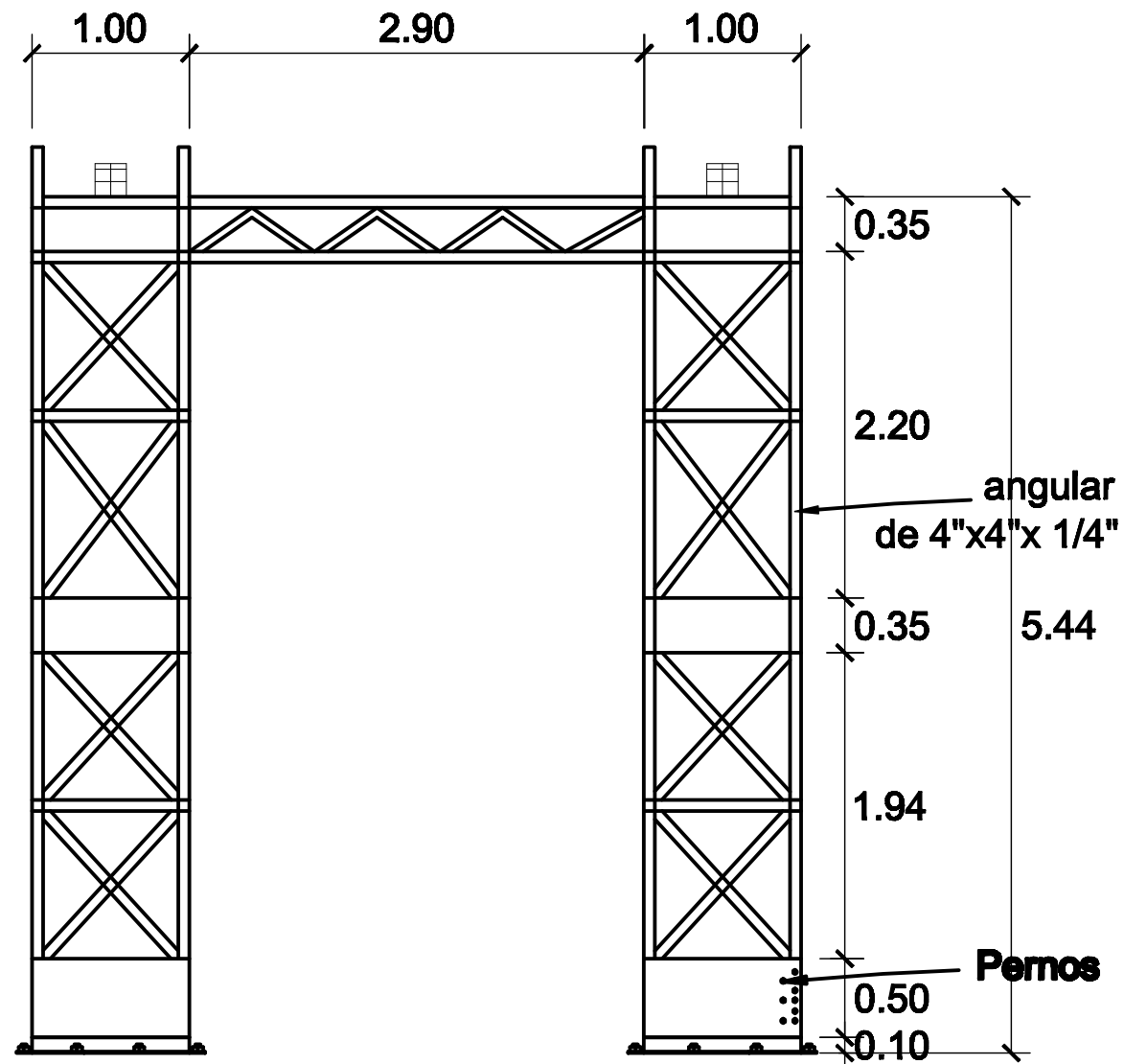
PROYECTO:
PUE

PUENTE COLGANTE

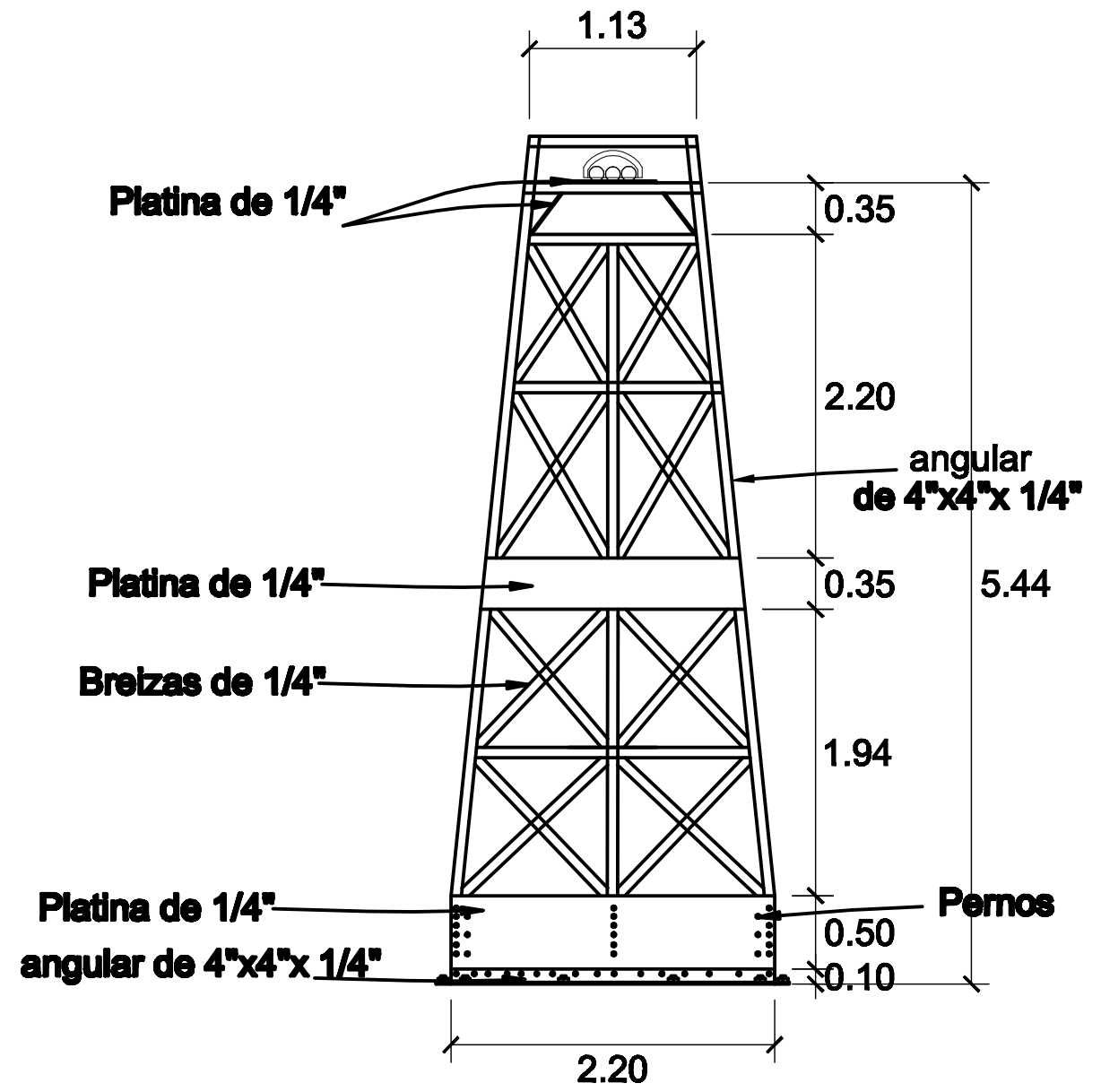
APRUEBA:

(f). _____
Vo.Bo. ALCALDE

(f) PROFESIONAL COLEGIADO




ELEVACION DE COLUMNA
ESCALA 1:25

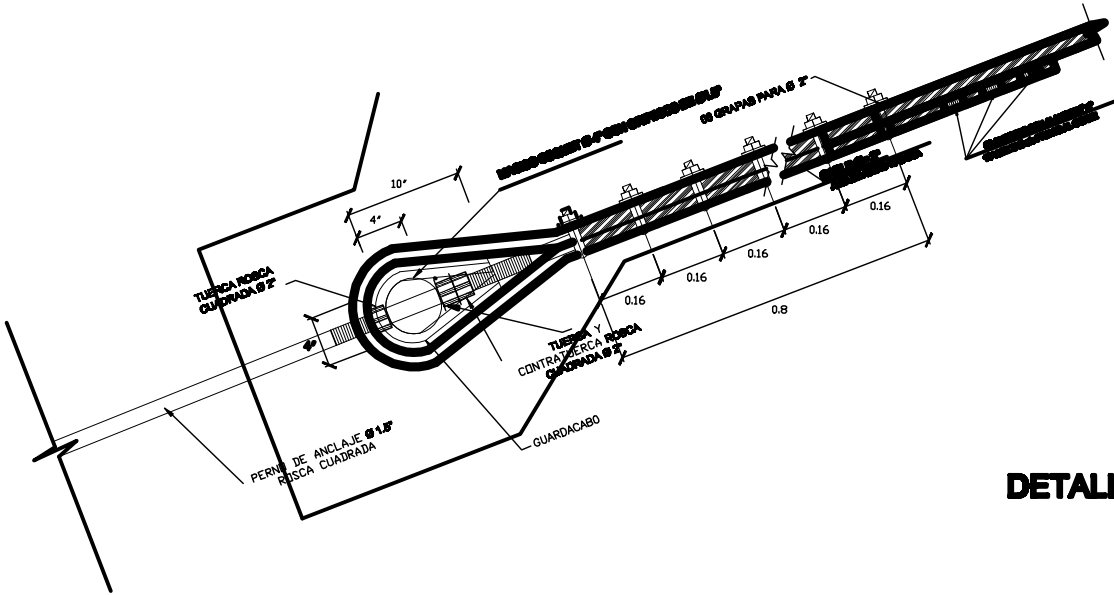


ELEVACION DE COLUMNA

ESCALA 1:25

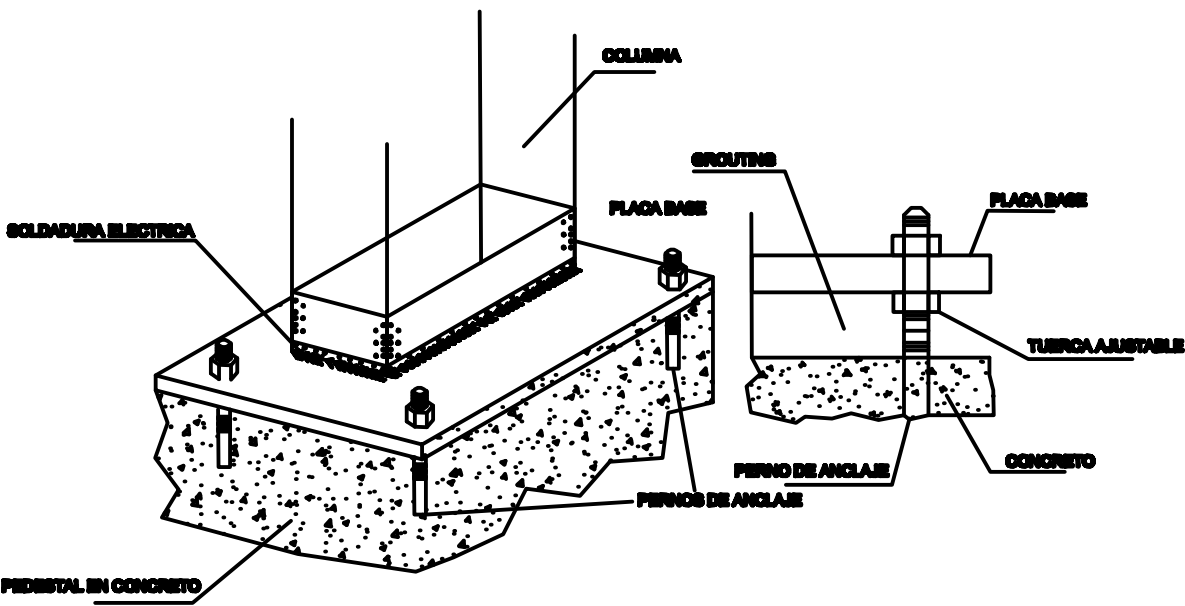
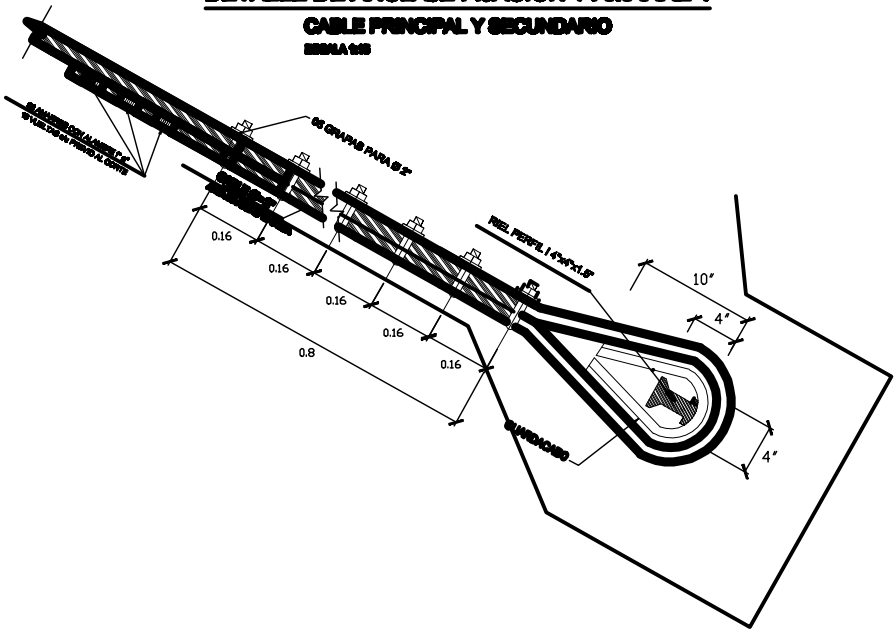
	MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTIN AC. DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACION 2015	
	CONTENIDO: ELEVACIÓN DE TORRES	HOJA: 1 / 3
DISEÑO: FERNANDO MARTINEZ CALCULO: FERNANDO MARTINEZ DIBUJO: FERNANDO MARTINEZ ESCALA: INDICADA FECHA: OCTUBRE 2015	PROYECTO: PUNTE VOLCANTE APRUEBA: _____ Vo.Bo. ALCALDE	UBIC. DET. ESTRU. INSTAL.

DETALLE DE ANCLAJE FIJACION Y AMARRE 2
CABLE PRINCIPAL Y SECUNDARIO
ESCALA 1:10

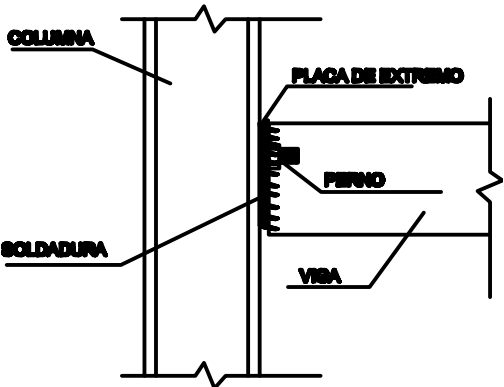


DETALLE #7

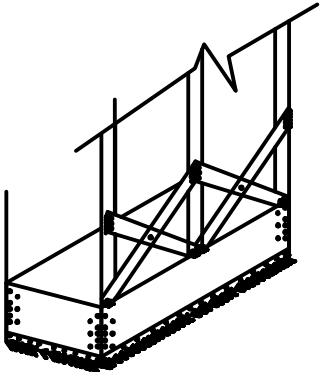
DETALLE DE ANCLAJE FIJACION Y AMARRE 1
CABLE PRINCIPAL Y SECUNDARIO
ESCALA 1:10



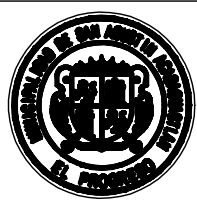
DETALLE #5
ANCLAJE DE TORRES



DETALLE #6 UNIÓN
COLUMNA-VIGA



ARRIOSTRAMIENTO DIAGONAL



MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTIN AC.
DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO
DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACION 2015

CONTENIDO:
DETALLES DE ACERO

HQJA:
2/3

DISEÑO:
FERNANDO MARTINEZ
CALCULO:
FERNANDO MARTINEZ
DIBUJO:
FERNANDO MARTINEZ
ESCALA:
INDICADA
FECHA:
OCTUBRE 2015

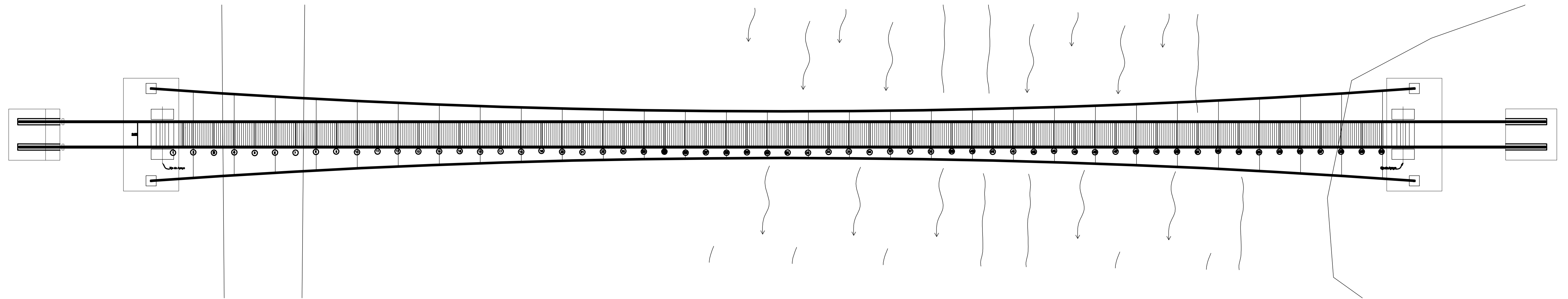
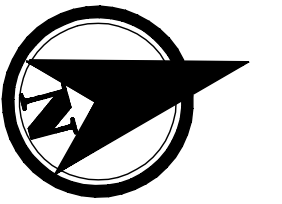
PROYECTO:
PUENTE COLGANTE

APRUEBA:

< F > Vo.Bo. ALCALDE

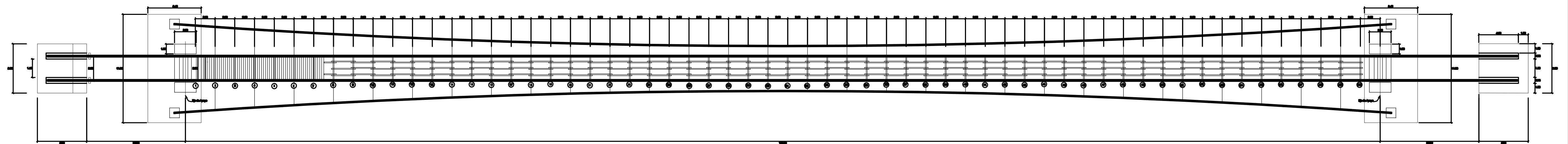
< F > PROFESIONAL COLEGIADO

UBIC.
DET.
ESTRUC.
INSTAL.



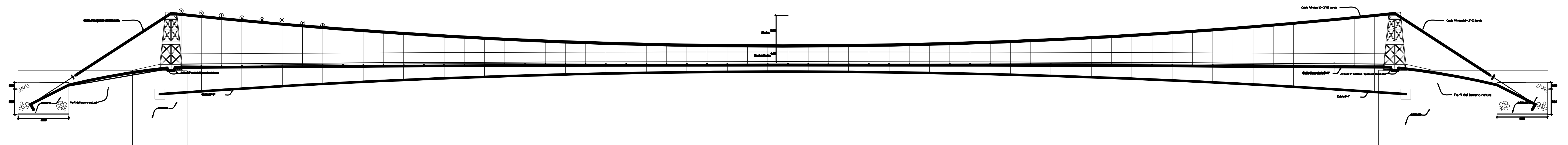
PLANTA DEL PUENTE COLGANTE PEATONAL

ESCALA: 1/100



PLANTA ACOTADA

ESCALA: 1/100



PERFIL LOGITUDINAL DEL PUENTE COLGANTE TIPO HAMACA

ESCALA: 1/100



MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTIN AC.
DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO
DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACION 2015

CONTENIDO:
PLANTAS

HOJA:
3/3

DISEÑO:
FERNANDO MARTINEZ

CALCULO:
FERNANDO MARTINEZ

DIBUJO:
FERNANDO MARTINEZ

ESCALA:
INDICADA

FECHA:
OCTUBRE 2015

PROYECTO:
PUENTE COLGANTE

APRUEBA:

ALCALDE

PROFESIONAL COLEGIADO

URB.
ARQ.
ESTRUC.
INSTAL.